

Geschichte der Physik

Von den ältesten Zeiten bis zum Ausgange des achtzehnten Jahrhunderts.

Von

Dr. E. Gerland.

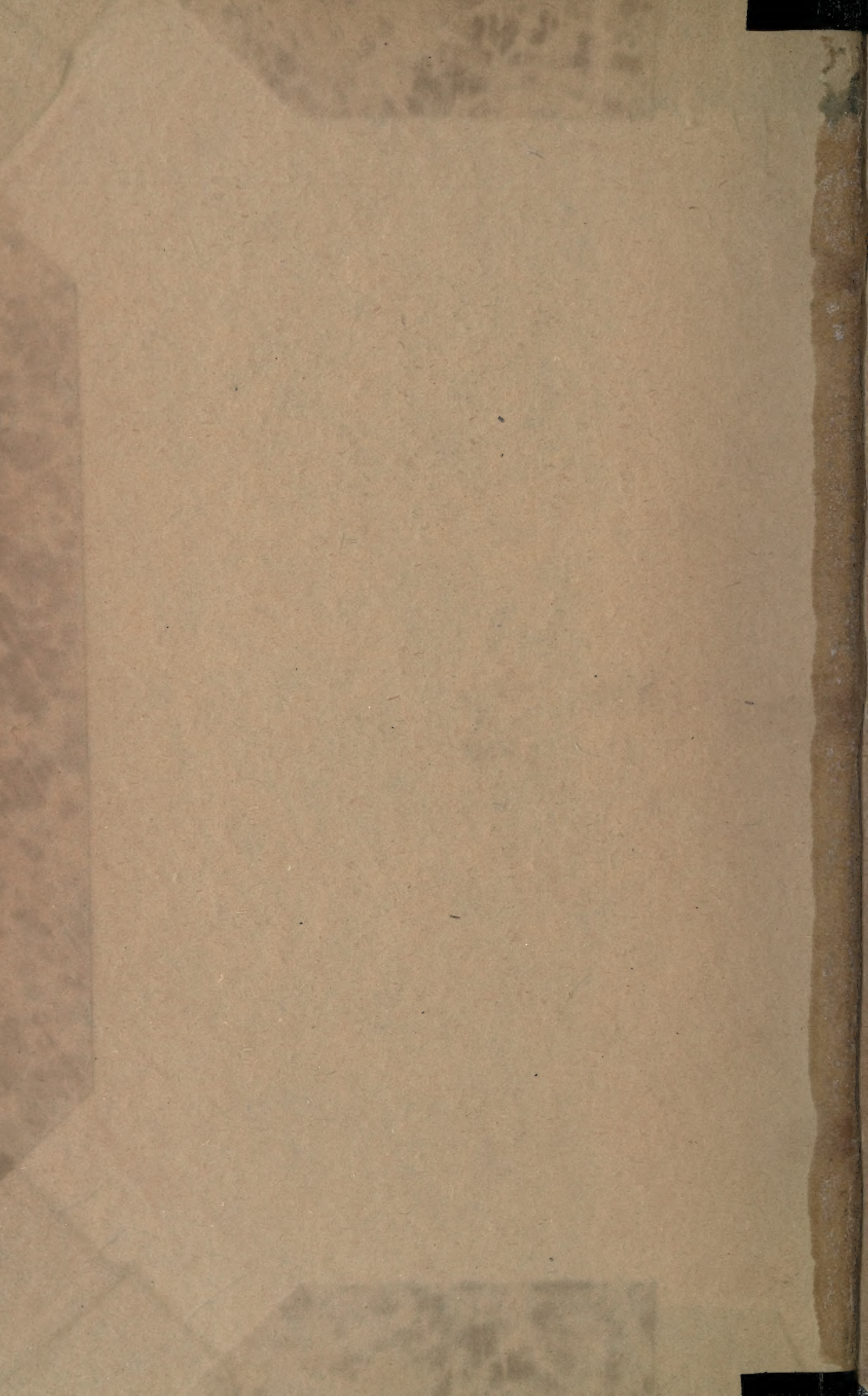
Für die Drucklegung durchgesehen von

Dr. H. v. Steinwehr.

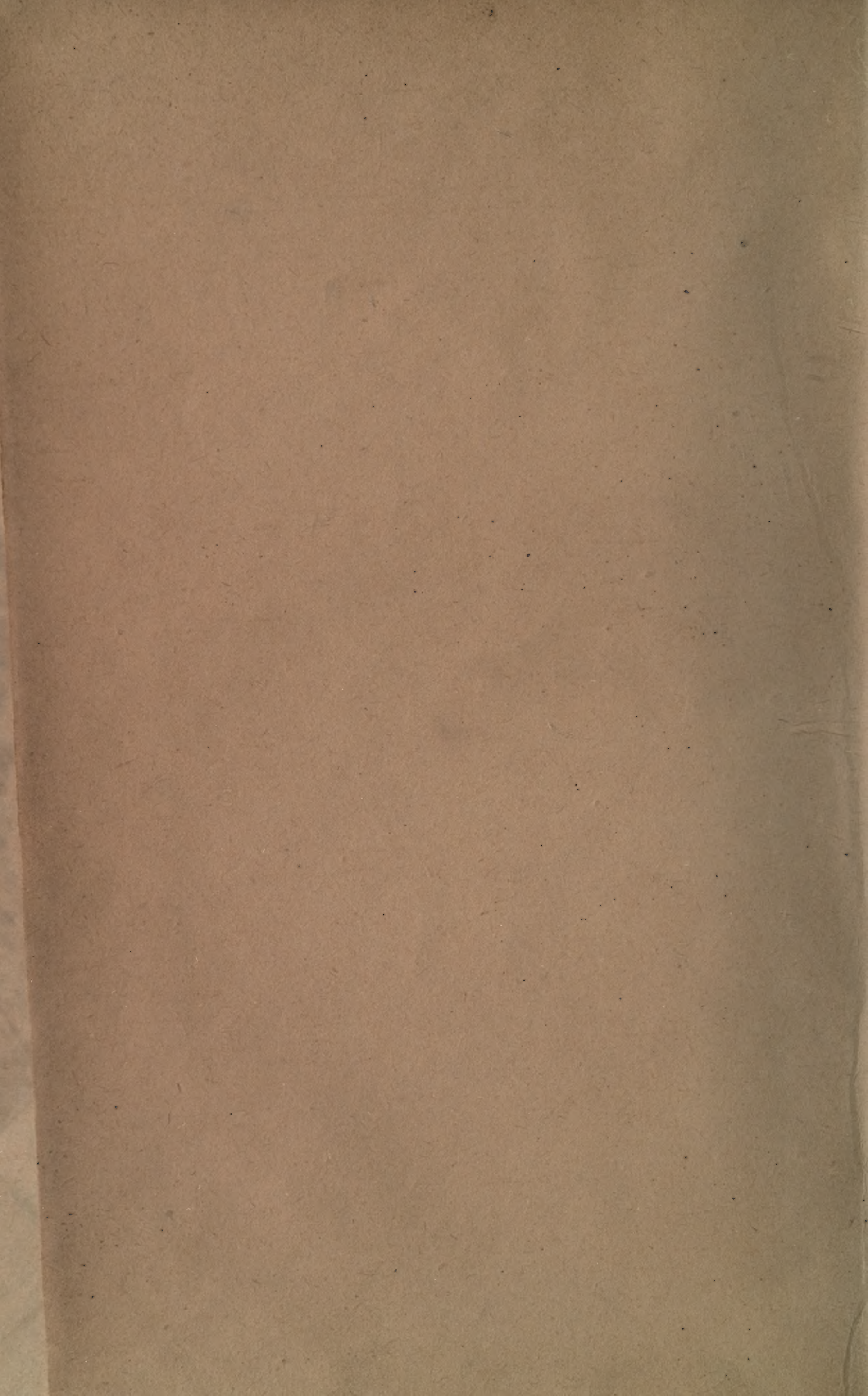


München und Berlin 1913.

Verlag von R. Oldenbourg.







Geschichte

der

Wissenschaften in Deutschland.

Neuere Zeit.

Vierundzwanzigster Band:

Geschichte der Physik.

Erste Abteilung.

AUF VERANLASSUNG
UND MIT
UNTERSTÜTZUNG
SEINER MAJESTÄT
DES KÖNIGS VON BAYERN
MAXIMILIAN II.



HERAUSGEGEBEN
DURCH DIE
HISTORISCHE KOMMISSION
BEI DER
KÖNIGL. AKADEMIE DER
WISSENSCHAFTEN.

München und Berlin 1913.
Druck und Verlag von R. Oldenbourg.

Geschichte der Physik

Erste Abteilung:

Von den ältesten Zeiten bis zum Ausgange des achtzehnten Jahrhunderts.

Von

Dr. E. Gerland.

Für die Drucklegung durchgesehen von

Dr. H. v. Steinwehr.

AUF VERANLASSUNG
UND MIT
UNTERSTÜTZUNG
SEINER MAJESTÄT
DES KÖNIGS VON BAYERN
MAXIMILIAN II.



HERAUSGEGEBEN
DURCH DIE
HISTORISCHE KOMMISSION
BEI DER
KÖNIGL. AKADEMIE DER
WISSENSCHAFTEN.

München und Berlin 1913.
Druck und Verlag von R. Oldenbourg.

Vorwort.

Als letztes Glied einer im übrigen längst abgeschlossenen von der Historischen Kommission bei der Kgl. Bayerischen Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Sammlung von Werken, welche die Geschichte der Wissenschaften umfaßt, erscheint, leider unvollendet, die hier vorliegende Geschichte der Physik von Ernst Gerland. Ein besonderes Mißgeschick, welches die Entstehung dieses Werkes von Anfang an verfolgte, hat das verspätete Erscheinen dieses Nachzüglers verschuldet. Waren doch bereits zwei Autoren, die Professoren Karsten und Heller, welche die Ausführung dieser weitaussehenden Arbeit unternommen hatten, gestorben, ohne über die ersten Vorarbeiten hinausgekommen zu sein, als seitens der Historischen Kommission an Professor Gerland die Aufforderung erging, eine Geschichte der Physik zu schreiben. Aber auch ihm war es nicht vergönnt, ein Werk zu vollenden, das auszuführen er sowohl durch zahlreiche eigene historische Forschungen als auch durch zusammenfassende Darstellungen, wie seine kleine „Geschichte der Physik" und die in Gemeinschaft mit Traumüller verfaßte „Geschichte der physikalischen Experimentierkunst" besonders berufen schien. Mitten aus der Arbeit heraus entriß ihn ein unerwarteter Tod dem Werke, welchem er die ganze Kraft der fünf letzten Jahre seines Lebens gewidmet hatte. Obwohl nun das Werk nur bis gegen das Ende des 18. Jahrhunderts geführt war, so beschloß die Historische Kommission doch, das Manuskript, soweit es fertiggestellt war, durch den Druck zu veröffentlichen. Wesentlich diesem hochherzigen Entschluß sowie ferner dem allseitigen Entgegenkommen der übrigen beteiligten Faktoren ist es zu danken,

daß das von dem Verfasser in mehrjähriger Arbeit geschaffene Werk nicht verloren ist, sondern in dem vorliegenden Bande der Öffentlichkeit übergeben werden kann.

Die Durchsicht des im Großen und Ganzen druckfertigen Manuskripts sowie die Überwachung der Drucklegung wurde dem Unterzeichneten als dem Schwiegersohne des Verstorbenen von der Historischen Kommission übertragen. Beim Durcharbeiten des nicht ganz leicht lesbaren Manuskripts sowie auch später noch beim Lesen der Korrekturen ergaben sich zahlreiche Schwierigkeiten, deren Beseitigung dem Verfasser selbst nur unbedeutende Mühe verursacht hätte, während sie für jeden anderen ein häufig zeitraubendes näheres Eingehen auf die behandelte Materie erforderten. Die infolgedessen sich ergebenden unvermeidlichen Änderungen sind auf das geringste Maß eingeschränkt und hoffentlich immer im Sinne des Verfassers vorgenommen worden.

Für den Gebrauch des Werkes, welches den Bestimmungen entsprechend keine Abbildungen enthält, empfiehlt es sich, soweit die Beschreibung von Apparaten und Schilderung ihrer Wirkungsweise in Frage kommt, die bereits erwähnte „Geschichte der physikalischen Experimentierkunst“ zur Hilfe heranzuziehen, da die in diesem Werke enthaltenen vorzüglichen Abbildungen das Verständnis wesentlich erleichtern.

H. v. Steinwehr.

Inhaltsverzeichnis.

*

Einleitung.

Die Entwicklungsgeschichte der Erde nach großen Epochen darzustellen ist der Forschung je länger, je mehr gelungen; sie kann in nicht wenigen Fällen nachweisen, wie sich die höheren Organismen aus niedriger stehenden herausbildeten und auch die über der frühesten Geschichte der Menschheit so lange verbreitete Dunkelheit scheint sich nach und nach aufzuhellen. Noch wissen wir freilich nicht, in welcher Erdperiode der Mensch aufgetreten ist, noch ist es nicht möglich, die Urform, in der dies geschah, in ihren Einzelheiten zu beschreiben, das aber dürfte feststehen, daß es eine einzige Form ist, von der die verschiedenen Menschenrassen abstammen, eine Form, die einer der ältesten dem Säugetier zukommenden ähnlich gewesen sein dürfte. Die frühesten Urkunden seiner Geschichte sind Knochenreste, die auf uns gekommen sind und deren geologisches Alter sich genau bestimmen läßt. Der jüngste derartige Fund, der vor einigen Jahren in der Nähe von Heidelberg gemacht worden ist, hat feststellen lassen, daß dieser Homo Heidelbergensis bereits während des älteren Diluviums, wahrscheinlich aber bereits während des Pliozäns lebte[1]). Es ist bis jetzt zwar nur ein Unterkiefer von ihm gefunden worden, aber aus seiner Untersuchung hat sich ergeben, daß er nicht vom Pithekanthropos, dessen Reste in den tertiären Schichten Japans gefunden wurden, abstammt, sie hat auch seine Abstammung vom Dryopithecus, die Schwalbe[2]) befürwortet, höchst unwahrscheinlich erscheinen lassen. Diese stellen sich vielmehr als Parallelformen jenes ältesten Vertreters der Gattung Homo heraus, und sollten uns Funde menschlicher Reste aus noch früheren Zeiten jemals beschieden sein, so würden sie nach Schoetensack uns die gemeinsamen Ahnen sämtlicher Primaten kennen lehren. Aber das scheint

[1]) Schoetensack, Der Unterkiefer des Homo Heidelbergensis aus den Sanden von Mauer bei Heidelberg. Leipzig 1908.

[2]) Schwalbe, Die Vorgeschichte des Menschen. Braunschweig 1904. — Müller de la Fuente, Die Vorgeschichte der Menschheit. Wiesbaden 1906, S. 107.

bereits festzustehen, daß der rezente Mensch, für den Schwalbe[1]) die lateinische Benennung Linnés, des Homo sapiens, beibehalten will, nicht vom Homo primigenius, dem Neandertalmenschen, abstammt, dessen artliche Eigentümlichkeit uns durch eine große Zahl von Funden gut bekannt ist[2]). Vielmehr scheint dieser zuerst Europa bevölkert zu haben, von jenem aber verdrängt worden zu sein[3]).

Wie dem nun auch sein mag, jedenfalls sind ungeheuer lange Zeiträume nach dem Auftreten des Menschen verflossen, bis an die Seite jener ältesten Urkunden andere traten, bis die Menschheit Erzeugnisse ihrer Kunstfertigkeit hinterlassen konnte, Werkzeuge, die sie anfangs aus Stoffen, wie sie die Natur bot, später aus solchen, die sie sich selbst erst bereiten mußte, herstellte. Eine Sprache mochte der Mensch damals bereits haben, wenn sie auch noch recht unvollkommen gewesen sein mag, bald regten sich auch seine ersten künstlerischen Fähigkeiten, Menschen und Tiere suchte er in roher Darstellung abzubilden und damit war auch der erste Schritt zur Schrift getan, den zu machen freilich nicht überall gelang. Mit den Nachrichten aber, die die Bewohner der Ebene des Euphrat und des Tigris in unvergängliche Ziegelsteine eingruben, die die Insassen des Niltales ihren durch das überaus trockene Klima ihrer Heimat Jahrtausende hindurch unversehrt gebliebenen Papyrusrollen anvertrauten, geht die vorgeschichtliche Zeit in die geschichtliche über. Ihre Bauten, die auf uns gekommenen Erzeugnisse ihrer Kunst lassen uns die Höhe der Stufe, auf welche sie sich gehoben haben, erkennen, ihre hinterlassenen Urkunden erzählen uns von den Kriegen und Siegen ihrer Herrscher, sie berichten von deren gesetzgeberischen Taten, aber auch für den Zweig der Kulturgeschichte, mit dem wir hier uns zu beschäftigen haben, enthalten sie manches Bemerkenswerte.

Wir würden uns einer Unterlassungssünde schuldig machen, wollten wir neben den Babyloniern und Ägyptern nicht auch die Söhne des Reiches der Mitte nennen. Ist doch die chinesische Kultur sicher ebenso

---

[1]) Schwalbe, Über die Vorgeschichte des Menschen, Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte. 75. Versammlung zu Kassel, September 1903. I. Teil. Leipzig 1904, S. 163.

[2]) Klaatsch, Der primitive Mensch der Vergangenheit und der Gegenwart. Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte. 80. Versammlung zu Köln, September 1908. Leipzig 1909, S. 95.

[3]) Müller de la Fuente a. a. O., S. 158.

alt, vielleicht noch älter als die der genannten Völker. Die Arbeiten der beiden Biots, Klaproths u. a. aber haben ergeben, daß sich die Chinesen in uralten Zeiten mit naturwissenschaftlichen Gegenständen vielfach beschäftigten. Bei der früh vollzogenen völligen Abgeschlossenheit ihres Landes aber haben sie auf die Entwicklung der Naturwissenschaften einen nachweisbaren Einfluß kaum ausgeübt. Für uns wird es genügen, an den Stellen, wo ein solcher zu vermuten ist, darauf hinzuweisen.

Überblicken wir die Entwicklung der menschlichen Kultur von jenen ältesten Tagen bis auf unsere Zeiten, so sehen wir sie mit immer wachsender Beschleunigung vor sich gehen. Die Geschwindigkeit aber, mit der jetzt die Wissenschaft fortschreitet, ist erst in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts möglich geworden, seit die Anwendungen der Wärmelehre und der Lehre von der Elektrizität die Lebensverhältnisse der Kulturvölker von Grund aus verändert haben. Wie langsam dagegen breitete sich noch vor hundert Jahren eine neue Entdeckung aus. Aber auch die Tätigkeit, die der Entdecker selbst auf die Ausbildung der von ihm gefaßten Idee verwenden mußte, ist eine andere geworden. War er früher genötigt, um seine Entdeckung nutzbringend zu machen, selbst sich der Mühe ihrer weiteren Bearbeitung zu unterziehen, so erwächst ihm jetzt nach der leicht ins Werk zu setzenden Bekanntgebung sofort eine Reihe willkommener und unwillkommener Gehilfen, die den neuen Gedanken bis in seine äußersten Konsequenzen verfolgen und nicht ruhen, bis nichts mehr aus ihm herauszuholen ist. Wie weitaus ungünstiger aber lagen die Verhältnisse in jenen uralten Zeiten, die noch nicht über schriftliche, vielleicht noch nicht einmal über mündliche Mitteilung verfügten. Jedes neue Werkzeug oder sonstige Hilfsmittel im Kampfe gegen die widerstrebende Natur hat erst nach langen Zeiträumen seinem Vorgänger folgen können, die Ausbreitung seiner Verwendung hat sich jedenfalls über Zeiträume erstreckt, von denen wir uns keine Vorstellung mehr machen können. So fehlt uns denn auch jede Kunde von den ältesten Entdeckungen, welche die Anfänge der menschlichen Kultur bildeten.

Auch die Zeit ihrer Einführung ist völlig unsicher. Nur das wissen wir, daß die Völker zu verschiedenen Zeiten von der tiefsten Kulturstufe, die man als die der Steinzeit zu bezeichnen pflegt, sich erhoben. Während dieser Übergang von den Ägyptern bereits im fünften Jahrtausend vor Christi Geburt, soweit wir vermuten können, vollzogen

wurde[1]), sehen wir die germanischen Völkerschaften viel später dahin gelangen, vielleicht dazu angeregt, jedenfalls dabei unterstützt durch die Berührung mit bereits hochkultivierten Völkern, sehen im Innern Afrikas Völker auch jetzt noch auf jener frühesten Kulturstufe verharren, wenn sie diese auch sofort verlassen, sobald sie mit der europäischen Kultur in Berührung kommen. Die Tatsache aber, daß die wenigen Kulturerrungenschaften jener untersten Stufe überall die nämlichen sind, weist auf die Einheit des Menschengeschlechtes hin, vielleicht ist jedoch der Schluß berechtigt, daß die einzelnen Völker den Gebrauch des Speeres und des Feuers aus der Urheimat mitgebracht haben.

Die Kunde von der Entdeckung dieser und anderer dem Menschen nützlicher Gegenstände konnte nur durch die mündliche Überlieferung vermittelt werden. Dabei konnte es nicht fehlen, daß die Erfindung immer weiter verbessert wurde, wenn dies auch nicht besondere Beachtung fand, und so finden wir schon in jenen ältesten Zeiten Verhältnisse, wie wir ihnen später immer wieder begegnen, daß Einrichtungen von solcher Vollkommenheit bei größter Einfachheit e i n e m Erfinder zugeeignet werden, die schlechterdings so nicht erfunden sein können. In allen Zeiten sind es die mit den Apparaten Arbeitenden gewesen, die Verbesserungen auf Verbesserungen häuften. An die Erfindung des vollkommenen Apparates knüpfen sich in der neueren Zeit unverbürgte Nachrichten, in ältesten Zeiten wurden sie einfach als Geschenke der Götter betrachtet, ihre Erfindung ist zum Mythus geworden.

Von den Verhältnissen, in die ihre weiteren Schicksale die Völker brachten, hing es dann ab, ob sie sich zu höherer Entwicklung durcharbeiten, ob sie sich auf der erklommenen Stufe behaupten konnten. Wie der einzelne Mensch zeigen auch die Völker ein jugendfrisches Emporsteigen, ein Verharren in angestrengter nutzbringender Arbeit und ein Herabsinken zu nachlassender Tätigkeit, oft infolge innerer Zerrüttungen, oft dazu bestimmt durch die herrschenden Gewalten, die ihrerseits auch an dem Wechsel alles Irdischen teilnehmen. Das aber unterscheidet die Naturwissenschaft von so vielen anderen menschlichen Einrichtungen, daß sie je länger, je mehr ein gemeinschaftliches Besitztum aller Kulturvölker geworden ist und so in ihrem Fortschreiten von den wechselvollen Schicksalen einzelner Nationen je länger je mehr verschont blieb.

---

[1]) M e r k e r , Die Massai. Ethnographische Monographie eines ostafrikanischen Semitenvolkes, 1904.

Je länger, je mehr! Wohl war es im Altertum möglich, ja den roheren Sitten gemäß üblich, daß mit der Niederwerfung eines Volkes auch dessen Kultur vernichtet wurde, mit fortschreitender Gesittung aber änderte sich dies, und der Sieger suchte schon des eigenen Vorteils wegen den Besitz des Besiegten, soweit er konnte, zu schonen. Daß von der einstigen hohen babylonischen und ägyptischen Kultur so viele Nachrichten noch auf uns gekommen sind, ist freilich der dauerhaften und sicheren Art, wie sie die Urkunden darüber herstellten und aufbewahrten, zuzuschreiben, und von den griechischen, durch die Anhänger des Islam zerstörten Schriften hätten wir viel weniger behalten, wenn nicht diese selbst sich in wenn auch unvollkommener Weise die Kultur der Griechen angeeignet hätten und in arabischer Übersetzung Schriften bewahrt, deren Originale zugrunde gegangen sind. Die Erfindung der Buchdruckerkunst hat diese Verhältnisse von Grund aus geändert.

Trotzdem kann man von dieser Erfindung, von so durchschlagender Wichtigkeit die Wirkung der Vervielfältigung durch den Druck gewesen ist, eine neue Epoche der Naturwissenschaft und insbesondere der Physik nicht datieren. In viel einschneidenderer Weise als durch die Herstellung und Vervielfältigung der Schriften unterscheidet sich die neuere von der älteren Physik durch die Methode, welche die erstere zur Erlangung ihrer Ergebnisse anwendete, durch die Methode der Induktion. Durch sie wurde es erst möglich, mit Hilfe des Experimentes zu sicherer Erkenntnis der Naturgesetze vorzudringen und sie durch die nun folgende Deduktion sowohl auf ihre Richtigkeit zu prüfen, als auch zur allgemeinen Anwendung brauchbar zu machen. Dadurch aber wurde erst die Physik zur wirklichen Wissenschaft. Dieser Schritt von allerhöchster Wichtigkeit ist zu Zeiten Galileis gemacht worden, und so zerfällt die Geschichte der Physik in zwei große Abschnitte, in die Physik des Altertums und in die der Neuzeit. Während wir nun in jener die Leistungen von Angehörigen einzelner Völkerschaften wohl auseinanderhalten können, also von einer Physik der Babylonier, der Ägypter, Griechen, Römer und Araber und des mittelalterlichen Abendlandes reden können, so ist dies in der neueren Zeit untunlich, da nunmehr alle Kulturvölker an den Fortschritten der Wissenschaft sich beteiligen. Sind es nun in der neueren Wissenschaft auch einzelne Forscher, deren bahnbrechende Arbeiten den Gang der Forschung für eine Reihe anderer bestimmen, so reicht ihr Einfluß doch nicht so weit, daß nicht auch Gebiete, die sie unbebaut ließen, von einer Reihe weniger universeller Geister bearbeitet

worden wären, und so wird dort eine Einteilung nach den Arbeiten jener und den Fortschritten auf einzelnen Gebieten die angemessene sein. Wir beginnen mit der Schilderung jener ältesten Zeiten.

I. Die Physik im Altertume.

1. Die Babylonier.

Die Frage, welches von den Kulturvölkern der alten Welt sich als erstes mit Physik im weiteren Sinne beschäftigt hat, ist gegenwärtig wohl zugunsten der Babylonier entschieden. Außer ihnen hat man den nämlichen Anspruch zugunsten der Chinesen, der Assyrer und der Ägypter erhoben. Daß die Chinesen in sehr früher Zeit, um 3000 v. Chr., bereits besondere Beamten hatten, um den Eintritt der Jahreszeiten, der Verfinsterungen usw. zu bestimmen, daß sie schon seit uralten Zeiten das Erscheinen von Sternschnuppen aufzeichneten ist durch die Arbeiten der beiden Biots nachgewiesen[1]), auch ist es möglich, daß die Babylonier, deren Handelsverbindungen sicher weit reichten, auch mit China solche hatten. Trotzdem spricht alles dafür, daß die Babylonier die selbständigen Schöpfer ihrer Astronomie waren, waren doch ihre Kenntnisse viel ausgebreiteter als die der Chinesen. Aber gesetzt auch, daß die Chinesen bedeutendere Kenntnisse, namentlich in der Physik, gehabt hätten, so ist es nicht anzunehmen, daß sie in jenen alten Zeiten, in denen sich das Reich der Mitte bereits völlig gegen die Außenwelt abschloß, anderen Völkern zugute gekommen wären. Das ist erst später geschehen wie wir sehen werden. An der ältesten Entwicklung der Physik haben also die Chinesen keinen Anteil gehabt. Aber auch ein solcher seitens der Assyrer ist nicht festzustellen. Zwar haben sich in Ninive Tontäfelchen mit Inschriften über Himmelsbeobachtungen erhalten, es hatten die Assyrer einen wohl ausgebildeten Kalender, von dem Straßmaier[2]) glaubt, daß seine Einführung bis in das zehnte Jahrhundert v. Chr. hinaufreicht. Aber die Täfelchen enthalten nur astrologische Bestimmungen von der Art wie: „Der Mond ist am 28. Tage sichtbar: Glück für das Land Akkad, Unglück für das Westland."[3]). Man

---

[1]) J. B. Biot, Recherches sur l'ancienne astronomie chinoise, Paris 1842, und E. C. Biot, Comptes rendues 1841 und 1842; vgl. R. Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877, S. 11.

[2]) Epping, Astronomisches aus Babylon. Freiburg i. B. 1889, S. 5.

[3]) Ib. S. 4.

wird demnach Straßmaier zustimmen müssen, wenn er annimmt daß die ganze astronomische Kenntnis der Assyrer in Babylon ihren Ursprung habe, einem Ergebnis, dem sich auch Kugler[1]) anschließt. Die Abhängigkeit der assyrischen Kultur von der babylonischen findet ihre Erklärung in dem Umstand, daß die Assyrer babylonische Kolonisten waren.

Ähnlich verhält es sich mit den Ansprüchen der Ägypter. Darüber, daß in jenen alten Zeiten ein reger, bald kriegerischer, bald friedlicher, Verkehr zwischen dem Reiche der Pharaonen und Babylon stattfand, kann kein Zweifel mehr obwalten. Aber daraus folgt allerdings noch nicht die größere Selbständigkeit Babylons. Doch wird sie in hohem Grade wahrscheinlich, wenn man den Wissensschatz beider Völker in jenen ältesten Zeiten vergleicht, überall trägt der Babylons die Merkmale der Originalität und Unabhängigkeit, während durch den, über welchen die Ägypter verfügten, der entgegengesetzte Eindruck hervorgerufen wird. In demselben Sinne sprechen sich auch die Schriftsteller der Griechen und Römer aus. „Denn die Bestimmung der Jahreszeiten und die Einteilung des Tages in zwölf Stunden lernten die Griechen von den Babyloniern" sagt Herodot[2]), dem sich in Betreff der mittleren Bewegung des Mondes Geminus[3]), der zu Ciceros Zeiten lebte, anschließt, während Plinius[4]) von dem hohen Alter der astronomischen Beobachtungen überzeugt ist, das allerdings Cicero[5]) bezweifelt. Aber auch bis in das spätere Mittelalter wurde ein Schatz von geheimem Wissen den Chaldäern, wie man die Babylonier auch nannte, zugeschrieben.

Die Babylonier oder Chaldäer, auch nach zweien ihrer Provinzen Sumerier oder Akkader genannt, sind nach der Ansicht verschiedener Forscher turko-tartarischer, also mongolischer Abkunft, deren Kultur früh durch Semiten beeinflußt wurde. Möglicherweise waren sie Semiten oder Vorsemiten, aus denen später Araber, Syrer usw. hervorgingen.

---

[1]) Fr. X. Kugler, Die babylonische Mondrechnung. Freiburg i. B. 1900, S. VII. Vgl. auch Hellmann, Meteorologische Zeitschrift 1908, Bd. 25, S. 483.

[2]) Herodot β' 109: *πόλον μὲν γὰρ, καὶ γνώμονα, καὶ τὰ δυώδεκα μέρεα τῆς ἡμέρης, παρὰ Βαβυλωνίων ἔμαθον οἱ Ἕλληνες*, während sie die Geometrie von den Ägyptern bekommen haben sollen.

[3]) *Εἰσαγωγὴ εἰς τὰ φαινόμενα* Kap. 15, 2.

[4]) Plinius, Historia naturalis. Lib. VII, c. 57.

[5]) Cicero, De divinatione. Lib. I, cap. 19.

Die im alten Babylon neuerdings vorgenommenen Ausgrabungen usw. haben bewiesen, daß sie auch als Ingenieure Tüchtiges geleistet haben. Sorgfältig durchgeführte und ausgemessene Bewässerungsanlagen hatten damals weite Landstrecken zwischen Euphrat und Tigris, welche jetzt wüste liegen, zu einem blühenden Garten umgewandelt, ihre Erhaltung erforderte viel Arbeit, jede Vernachlässigung aber rächte sich schwer. Sie haben wahrscheinlich gute Straßen, sicher mächtige Städte gebaut, haben Tunnels angelegt; auch verwendeten sie (nicht die Etrusker) zuerst Gewölbe[1]). Solche Anlagen aber konnten sie nicht machen ohne ausreichende Kenntnisse in der reinen und angewandten Mathematik, ohne solche der Physik. Und auch von dem Bestehen leistungsfähiger Industrien haben uns die Ausgrabungen Kunde gegeben. Außer den bereits erwähnten Urkunden oder astronomische Nachrichten enthaltenden Tontäfelchen hat man emaillierte Glasflüsse, Lampen, Goldschmuck, Kupfergeräte, geflochtene, gewebte und gestickte Gegenstände gefunden und sich durch die Funde von Panzern und eisernen Helmen überzeugt, daß sie auch Eisen verarbeiten konnten, wofür auch Keilinschriften die Anweisung geben[2]).

Von Metallen besaßen sie außer Gold Kupfer und Eisen, auch Silber, Zinn und Bronze[3]). Daß sie auch Wagen und dann wohl zweiarmige Hebelwagen besaßen, dürfen wir als sicher annehmen. Haben sie uns auf ihren Denkmälern Abbildungen von solchen nicht hinterlassen, so sind doch aus den Ruinen ihrer königlichen Paläste und Tempel mit dem königlichen Stempel versehene Gewichte aus Stein oder Erz gefertigt, gefunden worden, die ohne jene keinen Sinn haben[4]).

Wußten sich demnach die Babylonier auf der Erde recht wohl einzurichten, so waren sie auch nicht weniger am Himmel zu Hause. Sie müssen sich während langer Zeiträume mit der Beobachtung der Himmelskörper beschäftigt haben, sonst wären sie wohl schwerlich auf

---

[1]) S. C. Merkel, Die Ingenieurtechnik im Altertum. Berlin 1899, S. 60, 206, 380 und 468.

[2]) Vgl. Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 4.

[3]) Hommel, Semitische Völker, 1883, S. 409; vgl. Müllner, Geschichte des Eisens in Inneröstterreich von der Urzeit bis zum Anfange des XIX. Jahrhunderts. Wien und Leipzig 1908, S. 4.

[4]) Hultsch, Griechische und römische Metrologie, Berlin 1882, S. 396, J. Oppert, L'étalon des mesures assyriennes, Paris 1875, S. 76. Vgl. Ibel, Die Wage im Altertum und im Mittelalter. Erlangen 1908, S. 9.

den von ihnen Saros genannten Zeitraum von 223 Monaten oder 18 Jahren und 11 Tagen aufmerksam geworden, nach welchem eine Wiederkehr der entsprechenden Finsternisse stattfindet[1]), wären nicht imstande gewesen, die Sichtbarkeit, Stunde und Größe einer Mondfinsternis zu bestimmen[2]), hätten nicht über den Lauf der Planeten so gut unterrichtet sein können, daß ihre Angaben über deren heliakische Auf- und Untergänge[3]), über ihre Opposition, Rückläufigkeit und Stellung in bezug auf gewisse Fixsterne bis auf einige Grade mit der Wirklichkeit übereinstimmten[4]). Vielleicht verdankt man ihnen auch die Feststellung des Tierkreises, doch ist es auch möglich, daß ihnen in dieser Erkenntnis die Chinesen oder Inder zuvorkamen und sie solche von jenen übernommen haben[5]). Die Beobachtungen wurden von den Priestern angestellt, die dafür eingerichtete Observatorien hatten. Sie waren dabei angehalten, dies mit großer Regelmäßigkeit zu tun, da sie sie zu bestimmten Zeitpunkten einsenden mußten[6]). Da aber sowohl die Mond- als auch die Planetenbeobachtungen je zwei besondere Systeme erkennen lassen, so nimmt Kugler[7]) an, daß es bei den Babyloniern zwei verschiedene Astronomenschulen gab. Doch hat Kugler[8]) auch drei Arten der Jupiterberechnung gefunden, die, zeitlich aufeinander folgend, die Bewegung des Planeten immer genauer darstellten und gezeigt, daß ihnen die Merkurbewegung viel genauer bekannt war als dem 300 Jahre jüngeren Ptolemaios, und daß ihre Berechnungen auch die des Hipparchos noch an Genauigkeit übertrafen. Auch der Zweck der gemachten Beobachtungen war ein doppelter. Einmal wurden sie zu astrologischen, namentlich Nativitätszwecken verwendet und die Chaldäer galten in späteren Zeiten lediglich für Sterndeuter. Dafür aber, daß sie auch zu wissenschaftlichen Zwecken, und von den Betreffenden lediglich zu solchen angestellt wurden, haben wir Strabos[9]) Zeugnis, indem er sagt: „Einige aber nehmen es auch auf sich, die Nativität zu stellen, welche die übrigen nicht anerkennen.“ Die Pla-

---

[1]) R. Wolf a. a. O., S. 9. — [2]) Epping a. a. O., S. 186.

[3]) Der erste sichtbare Aufgang des Sternes in der Morgendämmerung und sein letzter Untergang in der Abenddämmerung.

[4]) Epping a. a. O., S. 187. — [5]) Wolf a. a. O., S. 188.

[6]) Epping a. a. O., S. 185. — [7]) Kugler a. a. O., S. 209.

[8]) Kugler, Sternkunde und Sterndienst in Babel. I. Buch: Entwicklung der babylonischen Planetenkunde bis auf Christus. Münster i. W. 1907.

[9]) Strabo. 16. 1. § 6. *Προσποιοῦνται δέ τινες καὶ γενεθλιαλογεῖν, οὓς οὐ καταδέχονται οἱ ἕτεροι.*

netenbeobachtungen haben die Möglichkeit gegeben, die Lage der Schaltmonate der babylonischen Zeitrechnung zu bestimmen[1]). Die babylonischen Astronomen bedienten sich einer doppelten Zeitrechnung, einer, die als Grundlage die Bewegung des Mondes hatte, und einer zweiten, die von dem Lauf der Sonne genommen wurde[2]). Ihr Mondjahr war also ein gebundenes, d. h. durch Einschaltung an das Sonnenjahr angeschlossen. Den Tag teilten sie in 12 Tages- und 12 Nachtstunden, deren Länge mithin nach der Jahreszeit wechselte. Die Astronomen aber teilten den Tag in sechs Teile, jeden solchen Teil aber wieder in 60 Unterabteilungen, es zerfiel also der Tag in 360 Teile, von denen ein jeder die Länge von vier Minuten hatte[3]). Die Einteilung des Kreises in ebensoviele Teile ist aber nach Hoppe[4]) darauf zurückzuführen, daß sie als Normalwinkel zur Richtungsbestimmung einen Winkel von 60° wählten und ihn ihrem Duodezimalsystem entsprechend in 60 Teile teilten. Seit den Zeiten der Babylonier bis auf den heutigen Tag teilt man den Kreis in 360 Teile und die vor kurzem vorgeschlagene Einteilung in 400 Teile scheint zurzeit noch wenig Aussicht auf allgemeine Annahme zu haben. Von den Babyloniern aber rührt auch die Einteilung der Woche in sieben Tage her.

Daß einer so ausgebildeten Astronomie genügende mathematische Kenntnisse zur Seite stehen mußten, braucht kaum hervorgehoben zu werden. Auf diese haben wir hier nicht einzugehen. Ihre astronomischen Kenntnisse mußten wir etwas ausführlicher betrachten, da mit ihnen ihre physikalischen in engem Zusammenhange stehen, zu denen wir uns nun wenden.

Ihre physikalischen Kenntnisse hatten namentlich dann Bedeutung für die Babylonier, sobald sie die astrologischen oder astronomischen Beobachtungen zu unterstützen geeignet waren. Wenigstens ist die Kunde von anderen, deren sie noch manche gehabt haben, begreiflicherweise nicht auf uns gekommen. Doch verdanken wir diesem Umstande die erste genaue Beschreibung der Farben dünner Blättchen und der Erscheinungen, die bei der Ausbreitung einer kleinen Menge Öles auf Wasser entstehen. Sie wurden von den Priestern auf Wasser, das in einer flachen Schale enthalten war, beobachtet, indem ein Tropfen Sesamöl darauf gebracht wurde. Die dann auftretenden Farbenringe,

---

[1]) Kugler a. a. O., S. 210. — [2]) Epping a. a. O., S. 180.

[3]) Epping a. a. O., S. 183.

[4]) **Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte. 81. Versammlung, September 1909. Leipzig 1910.**

deren Zahl, die verschiedenen Formen, die der Tropfen annimmt, je nachdem er untersinkt, in kleine aufsteigende Tröpfchen zerfällt, oder als Hügel am Boden der Schale haftet, sind von ihnen ausführlich beschrieben, denn auf diese Verschiedenheiten gründeten sie Wahrsagungen[1]).

Zur Beobachtung von Sonnenhöhen und des wahren Mittags benutzten sie Gnomonen oder Sonnenzeiger, Stäbe, die in der Mitte einer horizontalen Kreisteilung senkrecht aufgestellt durch die Länge ihres Schattens die Sonnenhöhe ergaben. Auch Spiegel und Sammellinsen haben sie besessen. Die Ausgrabungen haben Spiegel von Metall zutage gefördert[2]), und daß sie als Toilettenspiegel benutzt wurden, darf wohl aus dem 2. Buch Mose, Kap. 38, Vers 8, gefolgert werden, wo berichtet wird, daß das eherne Waschbecken und sein Fuß aus den Spiegeln der zusammenkommenden Frauen verfertigt wurde. Eine plankonvexe Linse aus Bergkristall aber hat Layard[3]) in Ninive in einer Umgebung gefunden, die ihr hohes Alter gewährleistet. Sie hat eine Brennweite von 4,2 Zoll engl., bei 0,2 Zoll Dicke; ihr größter Durchmesser beträgt 1,6 Zoll, der dazu senkrechte kleinste 1,4 Zoll. Solche Linsen mögen bei den Assyrern wie den Babyloniern als Brenngläser gedient haben, also um die Sonnenstrahlen zu konzentrieren, Feuer anzuzünden u. dgl. Zur Bestimmung der Zeit dienten die sog. Klepsydren oder Wasseruhren, welche noch während langer Zeiträume die einzigen Zeitmesser waren. Mit ihrer Hilfe haben sie auch bereits Sternörter bestimmt. Es waren dies würfelförmige Gefäße mit einem feinen Loch von genau bestimmten Durchmesser im Boden. Sie wurden mit Wasser gefüllt und dieses floß langsam aus der Öffnung im Boden. Die dazu nötige Zeit diente als Einheit, und da Uhren, die dieselbe Einheit liefern sollten, nicht nur dieselbe Größe des Hohlraumes, sondern auch den nämlichen Durchmesser der Öffnung aufweisen mußten, so verwandte man auf deren Herstellung die größte Sorgfalt, hat sie später sogar in Edelsteine eingebohrt.

---

[1]) G. Quincke, Zur babylonischen Becherwahrsagung. Zeitschrift für Assyriologie 1904, Bd. 18, S. 223, die Texte bearbeitet von J. Hunger in Leipziger, semitische Studien, 1903, Bd. 1, S. 1.

[2]) H. Hilprecht, Ausgrabungen in Babylonien, 1904, S. 149. Vgl. Vogl, Die Physik Roger Bacons. Erlangen 1906, S. 65.

[3]) A. H. Layard, Niniveh and its remains. London 1849. Vgl. Harting, Het Mikroskoop. Utrecht 1850, Deel 3, S. 64; Brewster, Report of British Association 1852.

Diese Klepsydren haben für die alte Welt noch besondere Bedeutung gewonnen, als sie als Grundlage des Maßes und Gewichtes angenommen wurden. Was unsere Zeit trotz mannigfacher Bemühungen immer noch nicht erreicht hat, ein einheitliches Weltmaßsystem, das besaß die alte Welt von vornherein. Freilich war die „Welt" von damals recht viel kleiner als die von heute, und die allgemeine Annahme des Maßsystemes machte sich von selbst, denn sie hielt Schritt mit der Annahme der Kultur. Das Volk, welches wir als Schöpfer der frühesten Kultur erkannt haben, wird demnach auch als Urheber der antiken Maße anzusehen sein. Dieses Verdienst haben wir, wie wir sahen den Babyloniern zuzuschreiben. Von ihnen ging also, müssen wir weiter schließen, das Maßsystem des Altertums aus.

Mit diesem Schluß finden wir uns im Einklang mit Boekh und Lehmann, während Lepsius, der Ägyptologe, die Urheberschaft jener Maße den Ägyptern zuweisen möchte. Wir dürfen zu unseren Gunsten zunächst die oben dargelegten Gründe, die für die größere Ursprünglichkeit der Babylonier sprechen, anführen, wir können aber auch noch einen weiteren geltend machen. Die Alten hatten zwei Längenmaße von allgemeiner Gültigkeit, welche sich wie 6 : 7 verhielten. Diese, die sog. königliche Elle, hält nun Lepsius für die in Unterägypten einheimische, die andere, die profane, läßt er von Oberägypten eingeführt werden. Hätten nun auch beide, meint er weiter, von Anfang an kein rationales Verhältnis gehabt, so hätten sie durch den gleichzeitigen Gebrauch doch nach und nach in ein solches gebracht werden müssen, und das sei eben 6 : 7 gewesen[1]). Wenn nun auch gegen die Möglichkeit dieser Annahmen nichts einzuwenden ist, so ist doch dies keineswegs sehr nahe liegende Verhältnis damit nicht im mindesten erklärt, und man kann sich der Vermutung nicht erwehren, daß im Falle Lepsius' Annahme zutreffen sollte, die Ägypter vermutlich das Verhältnis ihrer beiden Grundlängenmaße doch wohl einfacher gestaltet haben würden. Boekh wiederum ist in der Lage, die Entstehung der beiden Maße zu erklären, wobei es ihm auch gelingt, zu zeigen, daß den Zeitmaßen, den Gewichten und den Längenmaßen, mit ihnen aber auch den Flächen- und Raummaßen, die nämliche Einheit zugrunde liegt[2]). Macht man

---

[1]) Lepsius, Die altägyptische Elle und ihre Einteilung. Abh. d. Kgl. Akad. d. Wissenschaften in Berlin 1865, S. 44.

[2]) Boekh, Metrologische Untersuchungen, Karstens Allgemeine Enzyklopädie der Physik I, 426.

nämlich die Annahme, daß die babylonischen Astronomen eine größere und eine kleinere würfelförmige Klepsydra gehabt hätten, deren Rauminhalte und also auch Gewichte sich wie 2:3 verhielten, so würden deren Seiten die Längenmaße geben, da sich $\sqrt[3]{2} : \sqrt[3]{3}$ sehr nahe, wie 6:7 verhalten. Gab nun das Gewicht der einen die Gewichtseinheit, wurde die Zeit, die zu seinem Entleeren nötig war, als Zeiteinheit angenommen, so erhalten wir ein Maßsystem, welches das heutige sog. absolute darin übertrifft, daß es auch die Zeit auf eine aus jenen sofort zu erhaltende Einheit zurückführte. Wenn wir nun auch sehen werden, daß bis in die siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts im größten Teile der Erde Maße und Gewichte galten, die ebensowenig miteinander, wie mit den Zeitmaßen im Zusammenhang standen, so wird sich doch zeigen, daß deshalb unsere Ansicht keine Änderung erheischt. Die Annahme Lehmanns[1]), daß die babylonische Elle von der Länge des Sekundenpendels abgenommen sei, sowie die andere, daß der ägyptischen wie dem Metermaß die Abmessung des Erdkörpers zugrunde lägen, dürften zurückzuweisen sein, da dazu Kenntnisse und Instrumente gehört hätten, welche über die damals zur Verfügung stehenden weit hinaus gingen.

Mehr als das Vorgeführte wissen wir von den physikalischen und astronomischen Kenntnissen der Babylonier nicht. Doch ist es nicht ausgeschlossen, daß die Entdeckung weiterer auf Tontäfelchen erhaltener Urkunden sie noch vermehrt. Das nämliche gilt von den Papyrusurkunden der Ägypter, zu welchem Volke wir uns nunmehr wenden.

2. Die Ägypter.

Die Ägypter sind, wie Stahrs[2]) anatomische Untersuchungen von 110 Mumienköpfen aus den Grabstätten des Mittelstandes in Theben wahrscheinlich gemacht haben, eine Rassenmischung, an der alle ihre Nachbarn, namentlich die Hamiten Nordafrikas und die Semiten beteiligt sind. Dieser Mischung ist ihre Entwicklungsfähigkeit, die sie früher zu hoher Kultur führte, zuzuschreiben. Schon frühe müssen

[1]) S. C. T. Lehmann, Über das babylonische metrische System und dessen Verbreitung. Verhandlungen der Physikalischen Gesellschaft 8. Jahrgang, 1889, Nr. 15, S. 81.

[2]) H. Stahr, Die Rassenfrage im antiken Ägypten. Berlin, Leipzig 1907, S. 31.

sie im Besitz einer Reihe chemischer[1]) Kenntnisse gewesen sein, ohne welche sie die von ihnen geübte Einbalsamierung ihrer Verstorbenen nicht in so vollkommener Weise hätten ausführen können, daß sie uns z. B. die Gesichtszüge des Sesostris der Griechen, des Pharaos Ramses des Großen, Tausende von Jahren hindurch erhalten haben. Hatten sie also von den Babyloniern gelernt, so hatten sie sich bald auf eigene Füße gestellt. Freilich muß darauf hingewiesen werden, daß die Ausgrabungen der babylonischen Altertümer mit ihren auf Tontäfelchen befindlichen Urkunden erst in ihren ersten Stadien sich befinden, während man ägyptische Papyrusse bereits seit vielen Jahren kennt. Es ist also nicht ausgeschlossen, daß man auch noch auf chemische Kenntnisse bei den Babyloniern stößt. Auch in der Bearbeitung der

---

[1]) Die Herkunft des Wortes „Chemie", das nach E. v. Meyer (Geschichte der Chemie, Leipzig 1895, S. 23) wohl zuerst im 4. Jahrh. n. Chr. in einem astrologischen Traktat des Julius Firmicus sich findet, ist noch nicht sicher ermittelt. Das Wort „Alchemie" stammt aus dem Arabischen, wo es al **kîmigâ** heißt, die Zusammensetzung des arabischen Artikels mit einem griechischen Lehnwort, für das Gildemeister (Zeitschrift der Deutschen Morgenländischen Gesellschaft, Bd. 30, S. 534 ff.) nachgewiesen hat, daß es nicht die Wissenschaft, sondern die angestrebte Masse bedeute. Demnach sei **kîmigâ** von dem griechischen *χυμὸς* abzuleiten, einer Ansicht, der sich Zeller anschließt, wenn er das Wort auf des Aristoteles Schrift *Περὶ τῶν χυμῶν* zurückführt. Dagegen glaubt Hoffmann (Ladenburg, Handwörterbuch der Chemie, 2. Bd,. Breslau 1884, S. 516 ff.) nachweisen zu können, daß der Name mit der Sache aus dem Ägyptischen entlehnt sei und von dem Wort Chemi, schwarz, herkomme. Wenn nun auch Rieß (Paulys Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaft. Neue Bearbeitung, herausg. von Wissowa, Stuttgart 1894, Bd. 1, S. 1338 ff.) zugibt, daß die von Hoffmann gegen Gildemeister vorgebrachten Gründe richtig sind, so macht er doch gegen des ersteren Erklärungsversuche geltend, daß die Bereitung der Schwärze als nur vorbereitender Prozeß nicht geeignet gewesen sei, der ganzen Kunst den Namen zu geben, und das um so weniger, als die Griechen für Schwärze ein eigenes Wort in *μελανα'σις* (*μέλανσις*) besaßen. Die Bezeichnung der Alchemie als *θεία, ἱερὰ τέχνη* lasse vielmehr vermuten, daß *χύμα* nur die Übersetzung eines fremden, gleiches bedeutenden Wortes sei, was die Ägyptologen noch zu ermitteln hätten. Deshalb verwirft er auch Kopps Annahme (Geschichte der Chemie, Bd. II, Braunschweig 1844, S. 4), daß Ägypten nach Plutarchos die Chemia oder das schwarze Land genannt und dieser Name von Zosimos auf die dort häufig geübte Kunst übertragen worden sei, die Schreibweise Chymie aber erst aus der Zeit der Araber stamme. Die im 14. Jahrhundert von Al Sachâwê herausgegebene arabische Enzyklopädie hält das Wort **kîmigâ** für das arabisierte hebräische Wort **kûnjah**, was wohltätiger als Gott bedeutet. (E. Wiedemann, Zur Alchemie bei den Arabern; Journal für praktische Chemie, Neue Folge, Bd. 75, S. 113.)

Metalle waren die Ägypter wohlerfahren. Gold erhielten sie aus den Quarzgängen am Nil, sie schmolzen es allein oder mit Silber, das sie einführen mußten, zu Legierungen zusammen; Kupfer holten sie von der Halbinsel Sinai und benutzten es zur Herstellung von Bronzen verschiedener Mischung. Auch Eisen verarbeiteten[1]) sie seit der Zeit der vierten Dynastie (um 3400 v. Chr.). Die ältesten noch vorhandenen Stücke von weichem Schmiedeeisen, die in Fugen beim Bau der Pyramide des Cheops 1835 und 1837 gefunden wurden, stammten aus dem Jahre 3000 v. Chr.[2]). Nach Abbildungen, die das Behauen von Steinen darstellen, scheinen sie übrigens auch Stahlwerkzeuge benutzt zu haben[3]). Zur Herstellung des Eisens bedienten sie sich besonderer Blasebälge. Auch in der Herstellung von Glassachen jeder Größe waren sie wohl bewandert, sei es nun, daß sie die Erfindung machten, sei es, daß, wie die Legende will, der Zufall sie den Phöniziern in den Schoß warf. Das älteste sicher datierte Stück Glas stammt aus der Zeit des Königs Amenemhêt III., der um 1830 v. Chr. regierte. Es ist ein 4 cm langes Bruchstück eines in Millefiorentechnik gearbeiteten Stabes von rechteckigem Querschnitt. Solche Stäbe wurden hergestellt, indem Fäden aus farbigem Glas wie ein Bündel Stricknadeln zusammengelegt durch Erhitzen zu einer festen Einheit verbunden und dann ausgezogen wurden. Die Köpfe der Fäden bilden den Namen des genannten Königs[4]). Auch Töpferwaren fertigten sie an. Daß sie die Oberhaut der Papyrusstengel ablösten, die Stücke aneinander leimten und so das Material zur Aufnahme ihrer Hieroglyphen erhielten, die die Trockenheit des Wüstenklimas wohl erhalten hat, braucht wohl kaum besonders erwähnt zu werden. Daneben war auch Leder im Gebrauch, dem jedoch erst ziemlich spät durch verfeinerte technische Behandlung eine größere Verbreitung verschafft wurde. Das verbesserte Verfahren führten die Alten auf Pergamon in Kleinasien zurück und gaben ihm deshalb den Namen des Pergamentes[5]).

---

[1]) Lepsius, Die Metalle in den altägyptischen Inschriften; vgl. v. Lippmann, Chemiker-Zeitung 1904, S. 421.

[2]) Lepsius, Zeitschrift für Ethnologie, Bd. V, S. 63; vgl. auch Müllner, Geschichte des Eisens in Innerösterreich. Wien und Leipzig 1908, S. 3.

[3]) L. Beck, Geschichte des Eisens, Braunschweig 1884, Bd. I. S. 67 u. 85.

[4]) H. Schäfer, Beiblatt zum Jahrbuch der Kgl. Preußischen Kunstsammlungen 29. Jahrg. der amtlichen Berichte, 1908, S. 134.

[5]) Zur Einführung in die Papyrusausstellung des internationalen Kongresses für historische Wissenschaften. Berlin 1908, S. 8.

Diese Künste setzen eine Reihe von technischen Kenntnissen voraus. Namentlich mußten sie in der Erhitzungstechnik schon weit vorgeschritten sein, um Eisen schmelzen zu können. In der Tat finden wir bei ihnen die ersten Gebläse, welche freilich nur durch Menschenkraft betätigt werden konnten. Eine auf uns gekommene bildliche Darstellung[1]) zeigt uns eine auf ebener Erde angelegte Esse, in der der Arbeiter mit einem Stabe das Feuer zu schüren scheint. Ein daneben abgebildeter Tiegel mit dem darunter angegebenen Schmelzgut deutet auch auf die später vorzunehmende Schmelzung hin. In der Esse münden von jeder Seite je zwei Düsen, welche von Blasebälgen gespeist werden. Diese bestehen aus Ledersäcken mit festen Deckeln, auf denen zwei Gehilfen die Füße gesetzt haben. Durch Hin- und Herneigen des Körpers drückten sie die Blasebälge, die Luft austreibend, abwechselnd zusammen, abwechselnd hoben sie sie mit Schnüren, deren Enden sie, in jeder Hand eines, hielten. In welcher grauen Vorzeit diese Apparate zuerst in Gebrauch kamen, wissen wir freilich nicht; nachdem die Einrichtung aber einmal eingeführt, wurde sie beibehalten, und es war von Interesse, auf der Ausstellung in Berlin vom Jahre 1896 ihrer Ausübung bei Nordafrikanern zu begegnen, die sie heute noch betreiben, mit dem Unterschiede jedoch, daß sie nur zwei Blasebälge benutzen, die ein Gehilfe des Schmiedes davor kauernd mit den Händen betätigt. Ähnliches mag von der durch die Ägypter ausgeübten Destillation gelten, die Zosimus genau beschreibt[2]). Die zu destillierende Flüssigkeit befand sich in einem Glaskolben, der auf seinem oberen Rohrende ein weiteres kugelförmiges Gefäß trug, in welches Metallröhren eingekittet waren. Sie mündeten in die kugelförmigen Vorlagen.

Auch das wichtigste Instrument des Chemikers der Gegenwart, die Wage, finden wir bereits seit ältester Zeit bei den Ägyptern im Gebrauch. Es war eine gleicharmige Hebelwage, deren Wagebalken statt der jetzt angewendeten Schneide einen Ring trug, durch den ein an einer Säule befestigter Haken hindurchgriff. Unter dem Ring war an der Mitte des Balkens eine Vorrichtung angebracht, mittels deren man den horizontalen Stand des Balkens beurteilen konnte. Es scheint ein an zwei Fäden aufgehängtes Senkel gewesen zu sein, zwischen denen sich ein senkrecht zum Balken an ihm befestigter Stab von solcher

---

[1]) Erman, Ägypten und ägyptisches Leben im Altertum. Berlin 1885/87, II. Bd., S. 592 ff.

[2]) Hoefer, Histoire de la Chimie. Paris 1866, S. 263.

Länge befand, daß er das Senkel nicht berührte, also eine Einrichtung, welche mit der der Zunge der jetzigen Krämerwage übereinkam. Das Prinzip des Reiters kannten sie noch nicht[1]). Eine weitere uns erhaltene Abbildung läßt auf eine ausgiebige Benutzung des Hebers zum Zweck des Überfüllens einer Flüssigkeit aus einem Gefäß in ein anderes schließen. Die dargestellte Einrichtung scheint zur Mischung verschiedener Flüssigkeiten gedient zu haben[2]). Auch über musikalische Instrumente verfügten die Ägypter. In den Königsgräbern in Theben hat man eine Flöte gefunden, welche nach der Untersuchung von Fétis eine fast vollständige Halbtonskala durch anderthalb Oktaven gibt. Abbildungen solcher Flöten, die mit weit ausgestrecktem Arme gegriffen werden mußte, finden sich übrigens bereits auf den allerältesten ägyptischen Denkmälern; sie müssen also schon in sehr frühen Zeiten die chromatische Tonleiter bereits besessen haben[3]).

Daß die Bewohner eines Landes, welches durch die jährlichen Überschwemmungen des Niles auf Bewässerungsanlagen hingewiesen wurde, mancherlei Vorrichtungen schufen, welche darauf Bezug hatten, ist nur natürlich. Man hatte schleusenartige Vorrichtungen[4]), Einrichtungen, um die Höhe des Nilwassers zu messen, endlich Schöpfräder, wie sie ähnlich auch in China üblich waren[5]), von einfacheren Schöpfvorrichtungen, welche mittels eines an einem zweiarmigen Hebel befestigten Gefäßes das Wasser um ein geringes zu heben gestatteten.

Die Fortbewegung größerer Lasten, wie die der großen Standbilder, der mächtigen Quadern für die Pyramiden geschah auf Schleifen mit Unterstützung durch Hebebäume, auch wohl auf untergelegten Walzen, wie dies bei Babyloniern und Assyriern auch üblich war[6]), wohl auch unter Anwendung von schiefen Ebenen; die Ansicht aber, die man früher hatte, daß die Pyramiden mit Hilfe mächtiger Rampen gebaut worden seien, die immer höher geführt wurden, hat man fallen lassen müssen,

---

[1]) E. Wiedemann, Wiedemanns Annalen. III. Leipzig 1878, S. 320.

[2]) Gerland und Traumüller a. a. O., S. 7 ff.; vgl. auch Ibel, Die Wage im Altertum und Mittelalter. Erlangen 1908, S. 16 ff.

[3]) Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen, 2. Aufl., S. 428.

[4]) Merkel, Bilder aus der Ingenieurtechnik, S. 38.

[5]) Merkel a. a. O., S. 28.

[6]) Abbildungen nach den bei den Ausgrabungen gefundenen Darstellungen s. Merkel, Bilder aus der Ingenieurtechnik. Leipzig 1904, Abb. 5, 6, 13 und 14.

und nimmt jetzt an, daß der Riesenbau mit einer kleineren Pyramide begann, deren Seiten langsam erhöht wurden, wobei die Steine mit Hilfe einfacher Hebezeuge auf die am Pyramidenmantel sich ergebenden Stufen, wie sie bei einzelnen jetzt noch vorhanden sind, während sie bei anderen durch Bekleidungsblöcke ausgeglichen wurden, gehoben wurden[1]).

Endlich sei hier noch eines Instrumentes der Ägypter, der Stora, Erwähnung getan, welches zum Abstecken rechter Winkel diente und aus einem vierstrahligen Stern bestand, an dessen Strahlenenden Schnüre mit Senkeln befestigt waren. Die Arme des Sternes sicherte ein Metallring in ihrer Lage, der durch einen Bügel getragen wurde und durch seine Vermittlung auf eine Signalstange aufgesteckt werden konnte. Die Fäden mit den Pendeln wurden später von Heron durch Diopter ersetzt[2]). Auch in der reinen Mathematik besaßen die Ägypter mancherlei Kenntnisse, die zum Teil über die der Babylonier hinausgingen; sie konnten mit Brüchen rechnen, einfache Gleichungen auflösen, mit arithmetischen und geometrischen Reihen operieren und konnten mit einiger Annäherung aus der Länge des Halbmessers den Kreisinhalt berechnen. Als Normalwinkel nahmen sie den rechten Winkel und teilten ihn, indem sie die Kreisteilung der Babylonier beibehielten, in 90 Teile. Auch wurden sie wohl durch die jährlichen Überschwemmungen des Nils darauf gebracht, die schon von den Babyloniern neben der Mondrechnung angenommene Rechnung nach der Sonne allein beizubehalten. Ihr Sonnenjahr teilten sie in 12 Monate zu je 30 Tagen ein, denen sie alljährlich fünf Ergänzungstage zufügten, so daß ihr Jahr 365 Tage enthielt. Erst von der Zeit des Augustus an schalteten die Alexandriner in jedem vierten Jahre einen Tag ein[3]).

Verfügten demnach jene uralten Völker auch über eine stattliche Reihe von Mitteln zur Erreichung der verschiedensten technischen und physikalischen Zwecke, hat auch die fortschreitende Forschung gezeigt, daß auch ihr wissenschaftlicher Standpunkt keineswegs ein so niedriger war, wie man früher glaubte annehmen zu müssen, so muß man sich doch hüten, ihre Leistungen mit modernem Maßstab messen zu wollen.

---

[1]) Merkel, Die Ingenieurtechnik im Altertum. Berlin 1899, S. 30.

[2]) Gerland und Traumüller a. a. O., S. 10.

[3]) Wislicenus in Valentiner Handwörterbuch der Astronomie, I. Bd. Breslau 1897, S. 610.

Denn was Mach[1]) von der Mechanik der Alten sagt, daß man zwischen technischen Erfahrungen und Wissenschaft im heutigen Sinne wohl zu unterscheiden habe, gilt ebenso von der Physik. Mancherlei Werkzeuge oder sonstige Vorrichtungen finden wir in den von ihnen aufbewahrten Schriften und Urkunden beschrieben, nach der Mitteilung wissenschaftlicher Kenntnisse aber sehen wir uns meistens vergeblich um.

3. Die Griechen.

a) Einleitende Bemerkungen.

Wenn, wenigstens soweit unsere Kenntnisse bis jetzt reichen, weder die Babylonier noch die Ägypter auch nur den Versuch gemacht haben, die mannigfachen Kenntnisse aus dem Gebiet der exakten Naturwissenschaften, die sie als vereinzelte Daten ohne Zusammenhang besaßen, zu einer einheitlichen Anschauung zusammenzufassen, so ändern sich diese Verhältnisse, sobald das Volk der Griechen den Schauplatz der Geschichte betritt. Es geschah dies im 8. Jahrhundert v. Chr., und der früheste Vertreter griechischer Wissenschaft, der Milesier Thales, macht auch sogleich den Versuch, alles, was besteht, auf ein Grundprinzip zurückzuführen und von diesem aus alle einzelnen bekannten Tatsachen wiederum begreiflich zu machen. Ob hierin Thales der erste war oder ob er Vorgänger hatte, wissen wir nicht, denn leider sind uns von den Schriften der Alten nur wenige erhalten und auch diese wenigen vielfach nur als Bruchstücke. Hätte nicht Aristoteles die Lehren seiner Vorgänger und Zeitgenossen gesammelt und dargestellt, wären nicht viele andere griechische Forscher diesem Beispiele, allerdings keineswegs immer mit derselben Freiheit von vorgefaßten Meinungen gefolgt, so wüßten wir von vielen der griechischen Forscher überhaupt nichts. Von größter Bedeutung sind namentlich die Schriften von Plutarch, Galenus und Diogenes Laertius, die uns eine Menge der wertvollsten Notizen über ihre Vorgänger aufbewahrt haben, aber deren Arbeiten sind vielfach unzuverlässig oder leichtfertig verfaßt, und muß bei ihrer Würdigung deshalb vorsichtig und kritisch verfahren werden. Die fünf Bücher physikalischer Lehrsätze der Philosophen, die den Namen Plutarchs tragen, rühren schwerlich von ihm her, sind vielleicht nur ein Auszug aus einem seiner größeren, uns nicht erhaltenen Werke, trotzdem aber für unsere

[1]) Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung. 5. Aufl. Leipzig 1904, S. 1.

Kenntnisse von der allergrößten Wichtigkeit. Nun ist das aber unzweifelhaft, daß in jener ältesten Zeit auch in wissenschaftlicher Beziehung eine lebhafte Verbindung zwischen den Chaldäern und Ägyptern einerseits und den Griechen anderseits bestanden hat. Haben doch nicht wenige der griechischen Gelehrten Ägypten bereist, wodurch von jenen ältesten Kulturvölkern eine Reihe von Kenntnissen in die von den Griechen bewohnten Länder gebracht worden sind. Man hat allerdings, dem jetzigen Stande der Forschung nach, anzunehmen, daß auf diese Weise nur eine Reihe von Einzeldingen zur Kenntnis des Okzidents gekommen sei; ob auch wissenschaftliche Methoden zur Zusammenfassung solcher Einzelerkenntnisse mit überliefert wurden, wissen wir freilich nicht, haben indessen keinen Grund, es anzunehmen. Das Bilden von Systemen wäre dann eine Errungenschaft griechischen Geistes, und erst seit die Griechen diesen Weg beschritten haben, ist es möglich, von einer Naturwissenschaft zu reden. Sie sind also deren Schöpfer, und das ist der Grund, weshalb die meisten vorhandenen Geschichten der Physik mit den Leistungen der Griechen beginnen. Die Schaffung des Maßsystems der Alten, und was wichtiger ist, ihres einheitlichen Maßsystemes, berechtigt aber wohl allein schon dazu, Babylonier und Ägypter von den Betrachtungen der Geschichte der Physik nicht auszuschließen. So hat man denn auch die Annahme, daß die griechische Wissenschaft lediglich und vollständig die Schöpfung ihres Geistes sei, fallen gelassen. Die Griechen haben von anderen Völkern eine Menge beobachtetes Material erhalten, aber sie haben es selbständig verarbeitet, und so hebt, im Gegensatz zu ihrer Vorgeschichte, die Geschichte der Physik in der Tat von den Griechen an.

Diese neue Art der Auffassung mußte ja sogleich eine doppelte Wirkung haben, sie mußte zu Beobachtungen, ja zu Experimenten antreiben, aber sie mußte auch dahin wirken, diese Beobachtungen nicht mehr planlos anzustellen. An die Stelle gelegentlicher Erfolge traten in planmäßiger Arbeit erhaltene. Freilich nicht in dem Umfange, daß wir die moderne Naturwissenschaft mit den Griechen beginnen lassen dürfen! Zwar haben sie die Methode der Induktion mit folgender Deduktion, welcher diese ihre grenzenlosen Erfolge verdankt, geschaffen, aber an ihrer auch nur einigermaßen ausgiebigen Anwendung hinderte sie die zweite Seite ihrer Forschungsweise, der Trieb, das Erforschte zugleich einheitlich zusammenzufassen, die als notwendig betrachtete Ansicht ein System zu bilden, aus einem Prinzip alles zu erklären.

Hinter diesem trat das Interesse an der Einzelbeobachtung zurück. In der nämlichen Weise verfährt aber bis zum heutigen Tage die Philosophie, und so sind die Griechen denn unbestrittenermaßen die Schöpfer der Philosophie geworden. Wohl auf Kosten ihrer Leistungen auf naturwissenschaftlichem Gebiet! Denn indem sie aus den wenigen ihnen zur Verfügung stehenden Beobachtungs- und Versuchsergebnissen auf das eigentliche Wesen der Dinge schließen wollten, waren sie gezwungen, eine Annahme zu machen, ihre Richtigkeit aber dann wieder an dem von Natur Gegebenen zu prüfen. Dabei ging es natürlich nicht ohne Zwang ab, alle Bemühungen aber waren fruchtlos, denn jede neue Beobachtung, ja jede neue Auffassung einer vorhandenen Beobachtung mußte die gemachte Annahme ändern, mußte einer meist allgemeiner gehaltenen Platz machen, und es konnte eine wirkliche Naturerkenntnis nie erreicht werden.

Dazu kam, daß den Griechen zunächst die Kunst des Experimentierens abging, die geschilderte Art des Forschens aber sie nicht auf deren Ausarbeitung und Notwendigkeit hinwies. Wenn man ihnen den Vorwurf gemacht hat, daß ihnen die Kunst des Experimentierens so gut wie unbekannt gewesen sei[1]), so ist dieser wohl nur dann gerechtfertigt, wenn man das quantitative Experiment damit meint. Solche konnte man freilich von ihnen noch nicht erwarten. Als sie ihre Forschungen begannen, waren außer den ihnen von ihren Vorgängern überlieferten durch einfache Experimente zu findenden Tatsachen nur sehr wenige bekannt. Sie hatten also zunächst vollauf damit zu tun, sie zu ergänzen, und alle Anzeichen sprechen dafür, daß sie dies redlich getan haben. Aus der Fülle der in unbefangenster Weise gemachten Beobachtungen, die sie uns hinterlassen haben, würde man schon darauf schließen dürfen, selbst wenn wir nicht auch anderweite Beweise hätten. Aber im Gegensatz zu jetziger Gepflogenheit trat der Arbeiter ganz hinter seiner Arbeit zurück, ja er legte ihre Ergebnisse einem verehrten Lehrer in den Mund, weniger wohl um dadurch die Wichtigkeit jener zu erhöhen, als vielmehr um diesem Achtung zu erweisen. So gaben die Schüler des Pythagoras alles was sie fanden als Forschungsergebnisse ihres Meisters, legte Platon seine eigene Lehre seinem Lehrer Sokrates in den Mund, und es erklärt sich dadurch, daß so wenig von Beobachtern und Experimentatoren die Rede ist. Wie

---

[1]) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 10.

noch bei Pascal[1]) und bei Cartesius hatte der Name des Arbeiters keinen Platz in der Erörterung des Systemes, auf dessen Darstellung kam alles an. Auch darf, worauf E. Wiedemann[2]) aufmerksam gemacht, nicht außer acht gelassen werden, daß für die Griechen keine Veranlassung vorlag, Versuchsergebnisse aufzubewahren, wenn sie zur Aufstellung eines Gesetzes geführt hatten.

Wenn nun der hohe Stand der Technik bei den Babyloniern und Ägyptern auf das Vorhandensein mancher physikalischer Kenntnisse schließen ließ, so gilt dies in demselben Maße bei den Griechen, wenn auch viele ihrer technischen Kenntnisse aus dem Orient stammen mochten. Zur Herstellung ihrer Werke bedurften sie aber der Metalle, und wenn wir erst hier auf die Frage nach deren Herkunft und Bearbeitung eingehen, so hat dies darin seinen Grund, daß wir erst durch die griechischen Schriftsteller, namentlich Herodotos, Pausanias, Xenophon und Strabon, in späterer Zeit von Plinius und Theophrastos darüber unterrichtet werden. Wenn wir die obige Frage auch bei Betrachtung der ägyptischen Kultur streifen konnten, so sind wir doch jetzt erst in der Lage, sie eingehender zu beantworten. Die Fundorte der Erze[3]) befanden sich namentlich in Kleinasien. Phrygien und Lydien besaßen reiche Gold- und Silbergruben, aus denen Midas und Krösus ihre Reichtümer schöpften. Auch Kupfer, Blei und Zinn, vielleicht auch etwas Zink, wurden dort gewonnen, dem erstgenannten Metall hat die daran namentlich reiche Insel Kypros ihren Namen gegeben. Auch Eisenerze wurden dort gefördert, und Schliemann fand in der dritten Stadt des Hügels von Hissarlik, die er für Troja hielt, Schleudergeschosse aus Magneteisen und Roteisen. In der Herstellung des Eisens und seiner Bearbeitung berühmt waren namentlich die am Pontus sitzenden Chalyber, die dem Namen des Stahls, den sie ebenfalls herstellten, seine griechische Bezeichnung Chalybs gegeben haben — oder umgekehrt, denn das Wort χάλυψ ist wahrscheinlich von dem Zeitwort χαλάω, schmelzen, herzuleiten[4]). Die Metall-

---

[1]) Duhem, Le Principe de Pascal. Revue générale des Sciences pures et appliquées 1905, 16. Jahrg., S. 610.

[2]) E. Wiedemann, Über das Experiment im Altertum und Mittelalter. Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften 1906, Bd. 12, S. 73 ff.

[3]) Freise, Die Gewinnung nutzbarer Mineralien in Kleinasien während des Altertumes. Zeitschrift für praktische Geologie 1906, Bd. 14, S. 277.

[4]) Freise, ebenda S. 283.

geräte, auch die aus Bronze, wurden hauptsächlich durch Eingießen in Formen erhalten. Und solche aus Glimmerschiefer, eine auch aus Granit, für die verschiedensten Geräte und Waffen, hat Schliemann in der dritten Stadt in großer Zahl gefunden neben Gußtrichtern, Luftsteigrohren und Schmelztiegeln, die mit drei oder vier Füßen versehen waren. Auch Rundöfen scheinen in Betrieb gewesen zu sein; der zum Anfachen des Feuers nötige Wind aber wurde offenbar mit Blasebälgen erzeugt. Wenigstens finden wir solche bereits von Homer geschildert, wenn er von Hephaistos sagt[1]):

„Dieses gesagt, verließ er sie dort und eilt in die Esse,
Wandt in das Feuer die Bälg' und hieß sie mit Macht arbeiten.
Zwanzig bliesen zugleich der Blasebälg' in die Öfen,
Allerlei Hauch aussendend des glutanfachenden Windes,
Bald des Eilenden Werk zu beschleunigen, bald sich erholend,
Je nachdem es Hephästos befahl zur Vollendung der Arbeit."

wobei aus den folgenden Versen weiter hervorgeht, daß der Gott der Esse auch in der Schmiedearbeit wohl erfahren war. Demnach war diese zu Homers Zeiten eine seit alters geübte Kunst, die sie, wie alle ihnen von andern Völkern übermittelten technischen Fertigkeiten stets den Göttern zuschrieben. Den Bergbau sollen die Phönizier bei ihnen eingeführt haben[2]), die Entdeckung des Goldes führten sie auf Helis, den Sohn des Okeanos, die des Silbers auf den Sprößling des Hephaistos und der Gaia, auf Erichthonius zurück. Das berühmteste ihrer aus Metall hergestellten Werke war der mächtige Koloß von Rhodos, die 70 Ellen hohe Bildsäule Apollons, deren Füße auf den 50 Ellen voneinander entfernten beiden Seiten des Hafeneinganges standen. War doch Rhodos berühmt wegen der Gewinnung und Verarbeitung der Metalle. 56 Jahre hatte das mächtige Standbild den Hafeneingang bewacht, als es 280 v. Chr.

---

[1]) Ilias XVIII, V. 468—473 nach Voß' Übersetzung. Der griechische Text lautet:
῝Ως εἰπὼν τὴν μὲν λίπεν αὐτοῦ, βῆ δ' ἐπὶ φύσας,
τὰς δ' ἐς πῦρ ἔτρεψε, κέλευσέ τε ἐργαζέσθαι.
φῦσαι δ' ἐν χοάνοισιν ἐείκοσι πᾶσαι ἐφύσων,
παντοίην εὔπρηστον ἀϋτμὴν ἐξανιεῖσαι
ἄλλοτε μὲν σπεύδοντι παρέμμεναι, ἄλλοτε δ' αὖτε,
ὅππως ῞Ηφαιστός τ' ἐθέλοι, καὶ ἔργον ἄνοιτο.

[2]) Merkel, Die Ingenieurtechnik im Altertum. Berlin 1899, S. 51. — Freise a. a. O., S. 281.

ein Erdbeben umstürzte. Sein Metallgewicht wird auf 300 t angegeben, denn als 651 n. Chr. ein Jude die Trümmer aufkaufte, hatte er 900 Kamelladungen zu 800 Pfund nach Alexandrien zu schaffen[1]).

Wohl das berühmteste Bergwerk des Altertums, zugleich dasjenige, über welches wir am genauesten unterrichtet sind, war Laurion in der Nähe Athens. Um die Mitte des 5. Jahrhunderts v. Chr. waren die Gruben bereits im vollen Betrieb[2]), später ging er zurück, um unter dem Archonten Demetrios einen neuen Aufschwung zu nehmen. Auf sie bezieht sich Aischylos in den „Persern", wenn er von seiner Vaterstadt rühmt:

„Silber quillt in ihren Bergen, Erdenschoßes reicher Schatz[3])."

Anfangs baute man die zutage tretenden reichen Erzmittel, die der Bergmann den eisernen Hut nennt, ab[4]) und trieb dann Stollen, später Schächte, die bis in eine Teufe von 120 m herabgingen. Die Bewetterung (Versorgung mit frischer Luft) besorgten Wetteröfen, zur Beleuchtung dienten tönerne oder bleierne Lampen. Die Grubenarbeiten wurden von Sklaven ausgeführt, die von ihren Herren zu diesem Zwecke vermietet wurden, 20 000 von ihnen waren zur Zeit des Demosthenes im laurischen Bergwerksgebiet beschäftigt, für deren jeder täglich ein Obolus (etwa neun Pfennige) Miete entrichtet werden mußte. Die Förderung des Erzes geschah in Säcken in ähnlicher Weise, wie dies bis in das vorige Jahrhundert hinein in Schemnitz, auf dem Harze usw. auch noch üblich war. Es wurde dann mehrmals zerkleinert und gesiebt, dann in Rundöfen von etwa 1 m Durchmesser aus Glimmerschiefer oder Trachyt geschmolzen und endlich nach Ausscheidung des Bleies das Silber aus ihm gewonnen[5]).

Diese Entwicklung des Bergbaues in verhältnismäßig früher Zeit kann nicht wundern, da wir wissen, daß bereits zu des Polykrates Zeiten (600 v. Chr.) die Griechen auch Bergtunnels für Wasserleitungen zur Ausführung brachten. Der berühmteste ist der Durchstich des 228 m

---

[1]) Freise a. a. O., S. 277.

[2]) v. Ernst, Über den Bergbau in Laurion. Berg- und hüttenmännisches Jahrbuch der k. k. österr. Bergakademie Leoben und Przibram 1906, Bd. 50, S. 447. Siehe auch J. F. Binder, Laurion, die attischen Bergwerke im Altertum. Laibach 1895.

[3]) Vers 189.

[4]) Ardeillon, Les mines du Laurion dans l'antiquité. Paris 1897.

[5]) Strabon.

hohen Berges Kastro auf Samos durch Eupalinos aus Megara, der 1000 m lang und durchschnittlich 2,30 m hoch war mit einem Graben zum Einlegen der Wasserleitungsrohre. Der Tunnel wurde von beiden Seiten in Angriff genommen, die gegeneinander geführten Hälften zeigten eine Abweichung von 5 bis 10 m, so daß in der Mitte eine Ausbiegung erforderlich wurde. Auch das Nivellement muß ziemlich gut gestimmt haben[1]).

Wir haben bisher die Bezeichnung Physik als gleichbedeutend mit Naturwissenschaft angenommen. In der Tat hatte sich aus dem weiteren Begriff der engere bei den Griechen noch nicht entwickelt. Sie verstanden also unter Physik die Naturwissenschaft im weitesten Sinne des Wortes. Der Unterschied zwischen Naturlehre und Naturgeschichte, zwischen experimentierender und beschreibender Naturwissenschaft wurde erst zur Notwendigkeit, als die neue Welt die alte mit einer Fülle neuer Pflanzen- und Tierformen überschüttete, Astronomie aber, Chemie und Meteorologie trennten sich erst viel später ab, so daß man von einer Physik im engeren Sinne, der Wissenschaft, die heute als Physik schlechthin gelehrt wird, eigentlich erst vom Anfange des vorigen Jahrhunderts, wenn nicht gar noch später reden könnte. In Wirklichkeit freilich hat sich diese Teilung ganz langsam vollzogen, und das erste Lehrbuch, welches sich ein Lehrbuch der Physik nennt, ist wohl das 1720 unter dem Titel Physices elementa mathematica experimentis confirmata von 's Gravesande, das sich mit dem zweiten Titel noch Introductio ad Philosophiam naturalem nennt. So nennen auch die, welche die Kenntnisse der damaligen Physik überliefern, diese Wissenschaft meist Philosophia naturalis, zum Unterschied von denjenigen, welche nur den einen oder den anderen Teil der Disziplin behandeln. So lange hat diese von den Griechen zuerst eingeschlagene Richtung die Physik beherrscht, und so wird auch unsere Darstellung der Geschichte der Physik von Seitenblicken auf die verwandten Wissenschaften nicht absehen können.

b) Die griechische vorsokratische Philosophie.

α) Die ionische Schule.

Indem wir uns nun zur Betrachtung der Leistungen der einzelnen griechischen Forscher wenden, werden wir nach dem Mitge-

---

[1]) W. Schmidt, Nivellierinstrument und Tunnelbau im Altertume. Bibl. Mathem. III. Folge, 4. Bd., Leipzig 1903, S. 7.

teilten das Hauptgewicht unserer Darstellung auf deren Bestrebungen zu legen haben die beobachteten Einzeldinge unter einer abstrakten Einheit zusammenzufassen. Da sind es dann immer einzelne geniale Männer, die einen Gedanken zuerst aussprechen. Oft schließen sich an sie andere an, die die weiteren Konsequenzen daraus ziehen, und so bilden sich die auch in der Geschichte der Philosophie eine so große Rolle spielenden Schulen. Zunächst legte man sich nur die Frage nach der Substanz vor, aus welcher alle Dinge bestehen sollten. Der Schöpfer der griechischen Philosophie, deren *ἀρχηγός*, wie ihn Aristoteles[1]) nennt, war der bereits erwähnte Milesier Thales (um 640 bis 550 v. Chr.), den man zu den sieben Weisen Griechenlands rechnet. Seine Kenntnisse geben uns den Wissensschatz, über den die Griechen zur Zeit ihres Eintrittes in die Geschichte der Wissenschaft verfügten. Neben einigen mathematischen und physikalischen waren es namentlich astronomische, die er von den Babyloniern direkt oder durch Vermittlung der Ägypter erhalten haben mag. Denn es handelte sich um die Vorausberechnung der Sonnenfinsternis vom 28. Mai 585 v. Chr., deren Eintritt dem Kampfe der Meder mit den Lydern ein Ende machte. Man hat keinen Grund, die Erzählung Herodots[2]), die dies mitteilt, dahin abzuschwächen, daß Thales die Erscheinung wohl erklärt aber nicht verkündet habe, wenn man die Möglichkeit zugibt, daß Thales Kenntnis von dem Saros der Babylonier gehabt habe. Daß aber zu seiner Zeit die Griechen mit der babylonischen Wissenschaft bekannt waren, dafür spricht auch die Tatsache, daß damals der Gesetzgeber Athens, Solon (um 594), die beiden babylonischen Maße in Attika einführte, neben denen allerdings noch ein drittes bestehen blieb, welches wahrscheinlich in Euböa einheimisch war. So haben sie sich auch früher der Wage bedient, deren Anwendung bei Homer bereits vorkommt[3]).

Die physikalischen Kenntnisse des Thales waren freilich noch recht mager, er wußte, daß der Magneteisenstein Eisen anzieht, und kannte höchstwahrscheinlich auch die Anziehung leichter Körperchen seitens des mit Wolle geriebenen Bernsteins, beides Tatsachen, die auch den Chinesen bekannt waren, ohne daß man bei der Unmittelbar-

---

[1]) Aristoteles, Metaphysica, I. 37.

[2]) Herodot. *ά*. 74. Die Stelle lautet: *Τήν δε μεταλλαγὴν ταύτην τῆς ἡμέρης Θαλῆς ὁ Μιλήσιος τοῖσι Ἴωσι προηγόρευσε ἐσεσθαι, οὖρον προθέμενος ἐνιαυτὸν τοῦτον ἐν ᾧ δὴ καὶ ἐγένετο ἡ μεταβολή.*

[3]) Ilias. VIII. V. 70, wo sie *τὰ τάλαντα* heißt.

keit, mit welcher sich diese Beobachtungen aufdrängen, annehmen müßte, daß durch irgendwelche Vermittlung die Griechen sie von den Chinesen erhalten hätten. Für beide Anziehungen macht er nach Aristoteles[1]) eine die Bewegung bewirkende Seele verantwortlich. Die Bezeichnung der Griechen für Bernstein, *τὸ ἤλεκτρον*, hat bei den Griechen, namentlich bei Homer, aber noch eine andere Bedeutung[2]). Man nannte so ein goldglänzendes Metall, wohl eine Legierung, und erst nach Herodot erhielt auch wohl wegen der Ähnlichkeit mit der Farbe der Bernstein denselben Namen, von dem dann später das Wort Elektrizität abgeleitet worden ist. Ob mit dem Worte *Λυγκούριον*, welches sich übrigens erst bei späteren Schriftstellern findet, der Bernstein gemeint wurde, ist strittig. Man bezeichnete damit auch den Hyazinth, und Beckmann[3]), dem sich Urbanitzky anschließt, vertritt die Ansicht, daß man damit nur den Hyazinth verstanden habe.

Wenn nun Thales, wie wir sahen, als erster den Versuch machte, das ihm vorliegende Beobachtungsmaterial zu einer einheitlichen Weltanschauung zusammenzufassen, so konnte diese bei dessen Geringfügigkeit nicht zu einer tiefer eindringenden Auffassung führen. Da er beobachtete, daß die Nahrung und der Same aller Dinge feucht sei, so glaubte er nach Aristoteles[4]) in dieser gemeinschaftlichen Eigenschaft das Prinzip alles Seins, das er noch nicht vom Element unterschied[5]), zu erkennen und setzte deshalb das Wasser als den Urstoff, aus dem alles hervorgehe und in das alles wieder zurückkehre. Auf dem Wasser aber sollte die scheibenförmige Erde schwimmen. Wenn nun auch diese Ansicht mit der Theogonie des Hesiod und Homer[6]) übereinstimmt, so ist doch kein Grund vorhanden, die Selbständigkeit des Thales bei Aufstellung seines Urstoffes in Zweifel zu ziehen, noch weniger scheint es notwendig, die Annahme zu machen, daß eine

---

[1]) Aristoteles, De anima. Lib. I, cap. 2.

[2]) Über die Ansichten der Schriftsteller hinsichtlich der Bedeutung des Wortes *ἤλεκτρον* s. Urbanitzky, Elektrizität und Magnetismus im Altertum. Wien 1887, S. 68 ff.

[3]) Beckmann, Beyträge zur Geschichte der Erfindungen, I. Bd., Leipzig 1786, S. 241.

[4]) Metaphysica I. 3.

[5]) Plutarchos, Physikalische Lehrsätze der Philosophen. II. Frage.

[6]) Ilias XIV. 246: *Ὠκεανοῦ, ὅσπερ γένεσις πάντεσσι τέτυκται.*

solche Lehre besonders in dem dem Nilwasser seine Fruchtbarkeit verdankenden Ägypten entstehen konnte. Wenn es ja auch möglich ist, daß Thales Ägypten bereist hat, so genügt doch der von Aristoteles gegebene Hinweis, um den Gedankengang des Milesiers zu rechtfertigen. Nur müssen wir uns, was freilich seine Schwierigkeiten hat, in jene, einer weitaus primitiveren Bildungsstufe entsprechende Anschauung versetzen, die noch keinen Unterschied zwischen den Sätzen: Alles, was entsteht und vergeht, bedarf Wasser, und alles dieses ist Wasser, macht.

Viel weiter in der Abstraktion ging der jüngere Zeitgenosse des Thales, Anaximander (um 611—547). Ebenfalls aus Milet stammend, war er vielleicht dessen Schüler; es entging ihm nicht, daß das ἄπειρον, der Urstoff, der Stoff, aus dem alles entstehen solle, nicht die beschränkten Eigenschaften des Wassers haben könne. Ein solcher Stoff könne nicht sinnlich wahrgenommen werden, doch müßten aus ihm alle anderen entstehen können. Dazu nahm er an, daß die Teilchen des Urstoffes in anhaltender Bewegung begriffen seien, die bewirke, daß sich zunächst das Warme und Kalte bilde, aus deren Vermischung er dann das Flüssige hervorgehen ließ. Aus diesem, als dem Samen der Welt, bilden sich dann in der von Thales angenommenen Weise alle Dinge. Wie dieser dachte er sich die Erde in Form eines flachen Zylinders, welcher auf dem Überbleibsel, dem Meere, schwimme, sich in dieser Lage durch sein Gleichgewicht behaupte und von einem Luftkreis und einem Feuerkreis umgeben sei. Durch Zerbersten des letzteren sollten dann die Gestirne, Feuermassen in Radform, die Luft enthalten, entstanden sein. Den Wind hielt er für ein Fließen der Luft. Die Erde selbst unterwarf er, soweit dies für ihn möglich war, einem genaueren Studium, als es jemals von ihm geschehen war. Soll er doch die erste Landkarte hergestellt haben, jene Landkarte, die später des Histiäus Schwiegersohn Aristagoras mit nach Sparta nahm, als es galt, die Lakedämonier für ein Bündnis gegen die Milet beherrschenden Perser zu bewegen. Aber auch dadurch soll er über seinen Vorgänger hinausgegangen sein, daß er seine Ansichten in einem, freilich verloren gegangenem Werke zusammenfaßte; man sagte ihm auch nach, daß er die Bewegung der Gestirne zu berechnen versucht habe. Inwieweit ihm dies gelungen ist, darüber können wir uns kein Urteil mehr bilden. Aber wir sehen diesen alten Jonier Wege zur Erlangung der Naturerkenntnis einschlagen, die denen gleichen, welcher sich in unserer Zeit,

die Naturforschung bedient. Die Ergebnisse beider sind freilich ebenso himmelweit voneinander unterschieden, wie der Reichtum des empirischen Ausgangsmaterials der Gegenwart ein unvergleichlich viel größerer ist, wie der jener grauen Vorzeit zur Verfügung stehende.

Der dritte der Philosophen, die gemeiniglich unter dem Namen der ionischen Schule zusammengefaßt werden, Anaximenes (um 550), wohl ein Schüler des Anaximander, ließ den allgemeineren Begriff des Urstoffes wieder fallen und sah in einer der Anschauung des Thales sich nähernden Weise, die das Weltganze umfassende Luft als den Urgrund und Ursprung aller Dinge an. Für einen Gott aber hat er den ἀήρ nicht gehalten, wie irrtümlich Cicero[1]), durch die Verspottung des Aristophanes dazu verführt, behauptet. Aus der Luft entsteht alles; verdichtet sie sich, so entsteht Wasser, verdünnt sie sich, das Warme, das Feuer. Weitere Verdichtung bringt die Wolken, die Steine und die Erde hervor, die auch als eben gedacht wird. Sie wird von der Luft getragen, die zugleich der Grund unseres Lebens, ja unserer Seele ist. Die Ausdünstungen der Erde aber, welche sich ausdehnen und dadurch feurig werden, verdichten sich wieder zu den Gestirnen, die deshalb einen erdigen Kern besitzen. Mit dem Himmel führen sie eine seitliche Drehung aus. Wird man nun auch diese Ansicht des Anaximenes als einen Rückschritt im Vergleich zu der seines Lehrers zu betrachten haben, so ist sie für uns doch deshalb von besonderem Interesse, als sie einen bedeutenden Fortschritt in der Naturerkenntnis gegen die Zeit des Thales zu beweisen scheint. Denn während das Wasser auf seine Eigenschaften, sein Gewicht, sein Verhalten gegen Wärme usw. leicht zu prüfen ist, so ist dies mit der Luft keineswegs der Fall. Wir werden sehen, daß, wenn auch Aristoteles überzeugt war, daß die Luft ein Gewicht habe, er doch nicht dazu kam, daraus die von ihm angenommene Unmöglichkeit des luftleeren Raumes zu erklären, daß dies auch fast 2000 Jahre später Galilei noch nicht gelang. Ließ aber Anaximenes aus ihren Dichtigkeits- und sonstigen Änderungen alle Dinge entstehen, so mußte man doch solche beobachtet haben, und da das ohne Anstellung besonderer Experimente nicht wohl möglich ist, so wird die Annahme gerechtfertigt sein, daß man sich seit Thales mit dem Studium der

[1]) Cicero, De natura deorum I. 10.

Luft und dann doch wohl auch experimentell beschäftigt hatte, wenn auch Nachrichten davon nicht auf uns gekommen sind.

Die Zerstörung Milets durch die Perser im Jahre 494 machte dem wissenschaftlichen Leben daselbst ein Ende. Die ionische Schule freilich bestand weiter, ohne indessen Neues zu leisten. So behielt der Kleinasiate oder Großgrieche Hippon (um 450 v. Chr.) das Wasser als Urstoff bei, während sich Idaios von Himera in Sizilien sowie Diogenes aus Apollonia (um 450) der Ansicht des Anaximenes anschlossen, die der letztere weiter auszuführen suchte, indem er z. B. durch die Wärme die Stoffe in Kreisbewegung geraten ließ und daher der Erde eine walzenförmige Gestalt zusprechen zu müssen glaubte.

β) Die Eleaten und Pythagoreer.

Die Eleaten. Die weitere Entwicklung der griechischen Philosophie weist uns zunächst nach dem Süden Italiens, nach Großgriechenland, wie die Hellenen das Gebiet nannten. Hier ließ sich der aus Kolophon gebürtige Xenophanes (um 500) nieder, indem er seinen Wohnsitz im phokensischen Elea in Kampanien aufschlug. In seinen ziemlich zahlreichen, uns aber nur in Fragmenten erhaltenen Gedichten suchte auch er, wie die Hyliker, wie man die ionischen Philosophen auch nennt, nach dem Urgrund alles Bestehenden und gelangte zu dem Ergebnis, alles sei eins (ἓν καὶ πᾶν), kam aber wohl nicht zu der klaren Anschauung, ob diese Einheit als ein Stoff oder nur als ein Begriff aufzufassen sei. Indem er aber diese Einheit für Gott erklärte, gab er seiner Lehre einen religiösen Charakter, der sie freilich in vollen Gegensatz zu der Volksreligion brachte. Sein Anhänger, wenn nicht Schüler, Parmenides aus Elea (um 500 v. Chr.), ging einen Schritt weiter, indem er das eins und alles seines Lehrers im reinen Sein sah, das er für ungeworden und unvergänglich erklärte und mit dem Denken identifizierte. Das Sein soll hiernach also keineswegs etwa, wie der Urstoff der ionischen Schule, ein Sammelbegriff für alles Seiende sein; da er sich aber des Bedürfnisses, auch der Erscheinungswelt ihren Platz anzuweisen, nicht entschlagen kann, so geht er auf sie ein, indem er bemerkt, der Wahrheit Rede sei nun geschlossen, es trete nun die sterbliche Meinung an deren Stelle. Soweit uns seine Gedanken durch Aristoteles[1]) aufbewahrt sind, war ihm das Seiende

[1]) Metaphysik I. 5.

das Warme, das Nichtseiende das Kalte, aus deren Mischung er dann die Erscheinungswelt entstehen läßt. Den Widerspruch, in den er sich dadurch mit seiner Lehre setzte, hat er nicht gehoben, dies versuchte sein um 500 in Elea geborener Schüler Zeno, gegen den sich hauptsächlich die Kritik richtet, die Aristoteles[1]) an der Lehre der Eleaten übte. Da Zeno das Sein nicht aufgeben durfte, so opferte er die Erscheinungswelt und suchte zu beweisen, daß weder das Viele, noch das Wechselnde, noch das Räumliche, noch auch das Zeitliche wirklich vorhanden sein könne. Die Beweise, die uns Aristoteles aufbewahrt hat, suchen ihr Ziel in der Art der indirekten Beweise der Mathematik zu erreichen. Ehe man an ein Ziel kommt, so lautet der eine, muß man die Hälfte des Weges, ehe man zu dieser gelangt ein Viertel zurückgelegt haben, und so fort bis ins Unendliche. Es können also die unendlich vielen, unendlich kleinen Wege nicht in einer begrenzten Zeit durchmessen werden, also kann die Bewegung nicht wirklich sein. So kann auch — der bekannteste seiner Beweise — der rasche Renner Achilleus eine langsam kriechende Schildkröte, die einen Vorsprung vor ihm hat nicht einholen. In ähnlicher Weise sucht der Samier Melissos, der etwas jünger als Zeno war, die Erscheinungswelt hinwegzudemonstrieren, die Lehre trug also solche Widersprüche in sich, daß sie später, von den Sophisten wieder aufgenommen, der wirklichen Naturerkenntnis nur hinderlich werden konnte und bis in neuere Zeiten hinderlich geworden ist. Nur um dieses negativen Charakters willen mußte sie betrachtet werden, für die Förderung physikalischer Kenntnisse hat sie nicht gewirkt.

Die Pythagoreer. Dies tat dagegen in hohem Maße die Lehre, die etwa zu der nämlichen Zeit Pythagoras aus Samos (um 520 v. Chr.) aufstellte, obwohl sie einige Ähnlichkeiten mit der eleatischen aufweist. Ganz so weit wie die Eleaten ging sie allerdings nicht in der Abstraktion, sie ließ einen Urstoff als solchen bestehen, aber sie abstrahierte von der qualitativen Verschiedenheit seiner Teile und behielt nur die quantitative Bestimmbarkeit bei, die die Körper eben in Teile zu zerlegen erlaubt. Diese ist aber durch Zahlen gegeben, und so kamen die Pythagoreer dazu, das Wesen der Dinge in der Zahl zu sehen. Die Pythagoreer, oder, wie Aristoteles[2]) sagt: *οἱ καλούμενοι Πυθαγόρειοι*! Denn von des Pytha-

---

[1]) Metaphysik III. 4. — [2]) Metaphysik I. 8.

goras eigenster Lehre wissen wir so gut wie nichts, aber auch die Geschichte seiner Anhänger gehört, wie Zeller sagt, zum dunkelsten Abschnitt der Geschichte der griechischen Philosophie. Die Persönlichkeit des Pythagoras selbst ist völlig sagenhaft. Nur soviel wissen wir, daß er in Kroton in Großgriechenland eine religiöse Gemeinschaft, nicht eine Philosophenschule, gründete, deren Zweck war, die guten Sitten älterer Zeiten durch Mäßigkeit, Reinheit, Sittenstrenge, Gehorsam gegen die Gesetze, Treue in der Freundschaft, Ehrfurcht gegen die Götter und Eltern wieder einzuführen, eine Gemeinschaft also von durchaus sittlicher Grundlage. Das ging nun freilich ohne Einführung mancher Dogmen und mystischer Gebräuche nicht ab, wenn auch ihnen die spätere Zeit manches Fabelhafte angedichtet haben mag, wie ihre Enthaltsamkeit von Fleischnahrung ihr Abscheu vor Bohnen usw. Ebenso ist uns über ihre geschichtlichen Schicksale wenig Zuverlässiges überliefert. Wahrscheinlich bildete sich in Kroton eine ihnen feindliche Partei, die Pythagoras und die Seinen zwang, nach Metapont überzusiedeln, wo der Meister gegen Ende des 6. Jahrhunderts v. Chr. starb.

Infolge der Grundsätze der Pythagoreer und namentlich ihrer unbegrenzten Verehrung für den Stifter ihres Bundes ist es nicht möglich, die Leistungen der einzelnen Mitglieder des Bundes gesondert anzugeben. Wie es ja eine bekannte Erzählung ist, daß bei einer Meinungsverschiedenheit das keinen Widerspruch mehr zulassende Argument, ein „αὐτὸς ἔφα", er selbst, Pythagoras, hat es gesagt, war, so wird auch berichtet, daß dessen Schüler ihre eigenen Leistungen als ein Zeichen ihrer Verehrung ihrem Lehrer zuschrieben. So ist es sehr wohl möglich, daß diesem ein viel geringerer Anteil an der Ausbildung der Lehre, wie wir sie jetzt kennen, zukommt als seinen Schülern, und dies um so mehr, als die Schriftsteller des Altertums nicht wenigen von ihnen eine außergewöhnliche Tüchtigkeit zuschrieben. Dazu gehörten Philolaus, der um 420 v. Chr. in Theben lebte, Archytas aus Tarent, ein Zeitgenosse Platons, besonders in Mathematik und Mechanik bewandert, ferner Lysis, der Lehrer des Epaminondas und Eurytus aus Kroton oder Tarent, beide wahrscheinlich Schüler des Philolaus; dann Xenophilus, Phaeton, Eschecrater, Diocles, wohl Schüler des Eurytus, endlich Hiketas (Nicetas) der Syrakusaner und Ekphantus, welche zuerst die Drehung der Erde um ihre Achse gelehrt haben.

Herrscht so über die Geschichte des Bundes selbst große Dunkelheit, so gilt das nämliche über die Art, wie sie das Grundprinzip ihrer Lehre, die Zahl, aufgefaßt haben. Darüber spricht sich sogar Aristoteles in verschiedenem Sinne aus. Wenn sie nun aber einmal als das Wesen der Dinge die Zahl bezeichnen, dann aber auch in dieser deren Musterbild, das sie beherrschende Gesetz sehen, so darf man ihnen das nicht als Widerspruch anrechnen, sie waren eben noch nicht imstande, diese Dinge auseinanderzuhalten und nahmen in unbefangener Weise die an den Dingen wahrgenommenen Eigenschaften für deren eigenes Wesen.

Trotz dieser wichtigen Stellung, welche die Pythagoreer der Zahl anwiesen, verdankt man ihnen auf dem Gebiet der Zahlenlehre nur wenige Fortschritte von Bedeutung, sie kannten die arithmetischen, geometrischen und harmonischen Verhältnisse und kannten und benutzten auch irrationale Zahlen. Mehr noch haben sie auf dem Gebiete der Raumlehre geleistet, indem einer der grundlegenden Lehrsätze auch heute noch den Namen des Pythagoras trägt. Wenn ihn auch die Chinesen gefunden und gekannt haben, so ist er doch von den Pythagoreern selbständig aufgestellt worden. Im übrigen aber ergaben sie sich einer unfruchtbaren Zahlenmystik. Da die ungerade Zahl der Zweiteilung eine Grenze setzt, die gerade dagegen diese Grenze nicht hat, so setzten sie das Ungerade dem Begrenzten, das Gerade dem Unbegrenzten gleich und suchten dann in willkürlicher Weise auch andere Gegensätze, rechts und links, männlich und weiblich, gut und böse usw. auf jene Zahlengattungen zurückzuführen. Damit aber nicht genug, legten sie auch verschiedenen Dingen Zahlen bei. So führte die Einheit nach ihrer Auffassung auf die Vernunft, d. i. Gott, die Zweiheit auf den leidenden, stofflichen Teil, d. i. die Welt. Da die Zahlen von 1 bis 4 zusammen 10 geben, man von 10 aber von neuem zu zählen anfängt, so sehen sie den Begriff der Zahl den Einheiten nach in der Zehn, der Potenz nach in der Vierheit und aus einer solchen bestehe auch die Seele[1]). Andererseits sahen sie in der Einheit die Zahl des Punktes, in der Zwei die der Linie, in der Drei die der Fläche, in der Vier die des Körpers. Die fünf regelmäßigen Körper hielt dann Philolaos für das Wesen der Elementarstoffe, der Würfel kam der Erde zu, das Tetraeder dem Feuer, das Oktaeder der Luft, das Dodekaeder

[1]) Plutarch, Physik. Lehrsätze der Philosophen, 1. Buch, III. Frage.

dem Wasser, das Ikosaeder endlich einem fünften Elemente, welches sie wahrscheinlich Äther nannten[1]). Da bereits in ältester Zeit einzelnen Zahlen gewisse zum Teil heilige Bedeutung zugesprochen worden war, so fiel eine solche Zahlenmystik durchaus nicht auf unfruchtbaren Boden und ist bis heute wohl noch nicht ganz überwunden.

Ähnliches gilt von der pythagoreischen Ansicht über das Weltensystem, deren Deutung freilich auf Schwierigkeiten stößt, da Philolaos die Ansicht des Pythagoras wahrscheinlich fortbildete, jüngere Pythagoreer, wie Hiketas und Ekphantus, aber wieder zu ihr zurückkehrten[2]). Darin stimmten alle überein, daß die Erde, der Mond und die Planeten Kugelgestalt hätten und ihnen ihre eigenen Sphären zukämen, diese aber die Sphäre der Fixsterne umschlösse. Sie sollten sich in Entfernungen von der Erde befinden, welche in harmonischen Verhältnissen zueinander standen und dadurch Gelegenheit zu jener poetisch so oft verwendeten Harmonie der Sphären gegeben haben, die wir teils aus Gewohnheit nicht wahrnähmen, für die teils unser sterbliches Ohr zu eng sei. Während nun aber Pythagoras die Erde in den Mittelpunkt dieser Sphären setzte, bewahrte Philolaus diesen für das Zentralfeuer, um das sich ebenfalls die Erde und die nach der Ansicht des Aristoteles[3]) der Ausfüllung der heiligen Zehnzahl wegen überdies angenommene Gegenerde (*ἀντίχθων*) drehen. Wenn dadurch die Erde auch aus dem Mittelpunkt der Welt gerückt ist und sich um das Zentralfeuer bewegt, so wird doch nicht daran gedacht, daß sie sich um die Sonne bewege, und es ist deshalb kein Grund vorhanden, den Philolaus als Vorläufer des Copernicus anzusehen. Ob die Gegenerde, welche immer in einer Geraden mit der Erde und dem Zentralfeuer liegen sollte, auf derselben oder auf der entgegengesetzten Seite der Erde angenommen wurde, darüber gehen die Meinungen noch auseinander, doch ist nach Plutarch[4]) das letztere anzunehmen, es erklärt sich dann auch leicht, wie die oben genannten späteren Pythagoreer von der Ansicht des Philolaos leicht zu der des Pythagoras zurückgehen konnten, indem sie die Erde und Gegenerde zu einer Hohlkugel zusammengehen ließen, in deren Mitte sich das Zentralfeuer befand. Einige der

---

[1]) Vgl. Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877. S. 28 ff.

[2]) Zeller, Philosophie der Griechen, I. Bd., S. 376.

[3]) Aristoteles, Metaph. I. 5. 986a. 8.

[4]) Plutarch, plac. philos. 3, 11.

späteren Pythagoreer verwarfen zwar die Gegenerde, schalteten aber dafür, wohl um der Beibehaltung der Zehnzahl willen, den Kometen als eigenen Planet ein[1]).

Mit ihren Zahlentheorien stehen die physikalischen Arbeiten der Pythagoreer in so engem Zusammenhang, daß man wohl die Annahme machen darf, daß gerade diese jene wenigstens zum Teil hervorgerufen haben. Sie beziehen sich freilich nur auf die Saitentöne. Die Pythagoreer wußten, daß die Saitenlängen der einzelnen Töne innerhalb einer Oktave bei gleicher Spannung in bestimmtem Verhältnisse zu der des Grundtones stehen. Da sie den Begriff der Schwingungszahl aber noch nicht besaßen, so definierten sie die Töne nach den Längen der sie hervorbringenden durch gleiche Gewichte gespannte Saiten, dem tieferen Tone entsprach demnach die größere Zahl. Man hat dem Pythagoras unrecht getan, wenn man ihm nacherzählte, daß er zu der Entdeckung des Verhältnisses der die Quart, Quint und Oktave gebenden Töne durch eine zufällige Beobachtung gekommen sei. An einer Schmiede vorbeigehend, soll er gehört haben, daß die Hämmer, mit denen die vier darin beschäftigten Arbeiter zuschlugen, außer dem Grundton die oben genannte Intervalle gaben. Als er dann die Gewichte der Hämmer bestimmt habe, so hätte sich deren Verhältnis ergeben wie $1 : \frac{1}{2} : \frac{2}{3} : \frac{3}{4}$. Zu Hause hätte er dann an vier Saiten gleicher Länge Gewichte gehängt, die im Verhältnis der obigen Zahl standen, und dann von den Saiten die oben genannten Töne erhalten. Diese Anekdote hat uns der Neupythagoreer Nikomachos Cherasenus in seinem Endiiridium harmonices[2]) überliefert, der um 150 n. Chr. schrieb, sie ist später vielfach wiederholt worden[3]). Sie ist ohne jede Sachkenntnis erfunden; denn die Schwingungszahlen verhalten sich umgekehrt, wie die Quadratwurzel aus den spannenden Gewichten und umgekehrt wie die Saitenlängen. Pythagoras konnte also auf solche Weise die betreffenden Töne gar nicht erhalten. Ob er nun, welcher Annahme sich Helmholtz[4]) anschließt, seine

[1]) Nach Zellers Vermutung. Vgl. Haas, Ästhetische und teleologische Gesichtspunkte in der antiken Physik. Archiv für Geschichte der Philosophie, Bd. 22, 1908, S. 90.

[2]) S. 10 ed. Meibohm.

[3]) So von Jamblichos in vita Pythag. cap. 26 u. a.; vgl. Gehlers physikalisches Wörterbuch VIII, S. 201.

[4]) Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen, 5. Aufl., S. 2.

Kenntnisse bei seinen Reisen in Ägypten gesammelt hat oder ob er selbständig darauf gekommen ist, gewiß ist, daß die Pythagoreer die acht Stufen der diatonischen Tonleiter vollständig hinstellten, die sie dann in zwei getrennte Tetrachorde einteilten, also der siebenstufigen Tonleiter, die von dem Lesbier Terpander (um 676 v. Chr.) aufgestellt war, einen achten Ton zufügten, daß sie deren einzelnen Töne durch Quintenschritte erhielten in der Reihenfolge

F — C — G — D — A — E — H

endlich, daß sie das Gesetz aufstellten, wonach nur Töne, deren Verhältnis höchstens durch die Zahl 6 gegeben sei, Konsonanzen bildeten und zur Prüfung der von ihnen gefundenen Tatsachen das Monochord benutzten. Daß sie sich mit Optik beschäftigt hatten, wird nicht berichtet. Doch läßt nach Diogenes Laertius[1]) Pythagoras das Sehen durch eine heiße Ausdünstung zustande kommen, die von dem Auge zu dem Objekte strömt, infolge des Widerstandes aber, den sie bei dem Kalten findet, von den sichtbaren Gegenständen zurückgedrängt wird und so deren Empfindung zu dem Auge gelangen läßt.

Außer diesen Leistungen, die den Pythagoreern unbestritten zuerkannt werden, hat man ihnen auch mechanische Erfindungen zueignen wollen. So soll Archytas die Rolle und eine Reihe anderer Maschinen, namentlich Automaten, die großes Aufsehen erregten, und mechanische Vorrichtungen zur Beschreibung verschiedener Kurven erfunden haben. Rollen jedoch verwendeten bereits die Ägypter auf ihren Schiffen; die Berichte über die dem Eudoxus und Archytas außerdem zugeschriebenen Erfindungen sind aber so sagenhaft und bis zur Unmöglichkeit übertrieben, daß ihnen jeder geschichtliche Wert abzusprechen ist[2]).

γ) Herakleitos, Empedokles, Anaxagoras, die Atomistik.

Herakleitos. Während die bisher betrachteten Schulen sich mit der Lösung der Frage nach dem Urgrund alles Seins begnügt hatten, zogen andere Philosophen, die freilich Schulen nicht gebildet haben, auch das Werden in den Bereich ihrer Untersuchungen. Neben dem

---

[1]) VIII. 29. Vgl. Haas, Antike Lichttheorien. Archiv für Geschichte der Philosophie 1907, Bd. 20, S. 354.

[2]) Vgl. Gerland und Traumüller, Geschichte der Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 27.

Bestreben, das Wesen der Substanz zu erkennen, tritt nun das weitere, auch die Ursache der Bewegung aufzudecken. Das tat der Ephesier Herakleitos (um 500), der wegen der schweren Verständlichkeit seiner Schriften, von denen freilich nur Bruchstücke auf uns gekommen sind, der Dunkle (ὁ σκοτεινός) genannt wurde. Nach ihm gibt es nichts, was auch nur einen Augenblick seiner Substanz nach beharrt, alles ist in Veränderung begriffen, παντὰ ῥεῖ. Jede Veränderung, jedes Werden beruht aber auf einem Gegensatz, es verknüpft die Gegensätze zur Harmonie. Deshalb ist der Streit der Vater aller Dinge. Der Grundstoff aber, der unablässig in alle Stoffe und Formen übergeht, ist das Feuer, worunter aber der Ephesier das Warme oder, wenn man will, den Wärmestoff versteht. Die Verwertung dieses Gedankens beweist freilich, daß man zu seiner Zeit über Wärme noch recht wenig wußte. Er benutzt nur die Beobachtungen atmosphärischer Verhältnisse, wenn er aus dem Feuer oder den warmen Dünsten Feuchtigkeit, und aus dieser Erde entstehen läßt. Tiefer gehende, physikalische Kenntnisse bemerken wir also bei ihm nicht, wenn man nicht einige bei späteren Schriftstellern sich findende Andeutungen auf solche beziehen will.

Empedokles. Aber auch bei dem Agrigentiner Empedokles (um 460 v. Chr.) der uns ähnlich wie Pythagoras als philosophischer Reformator entgegentritt, sucht man solche vergebens, obwohl er auch, weil als Heilkünstler berühmt, zu mancherlei mystischen Erzählungen Veranlassung gegeben hat. Seine Lehre sucht die des Parmenides und des Herakleitos zu vereinigen. Da er mit jenem annimmt, daß es kein Werden und Vergehen im strengen Sinne des Wortes geben könne, so sucht er beides auf die Verbindung und Trennung unvergänglicher Grundstoffe zurückzuführen, der Elemente (στοιχεῖα), wie sie später Platon und Aristoteles nannten. Als solche nimmt er unter heraklitischem Einfluß die bekannten vier, Feuer, Wasser, Erde, Luft an, welch letzterer er bereits die Eigenschaft der Schwere zugesprochen zu haben scheint[1]). Ob er sie von den Indern übernahm[2]), die außer jenen vier auch Äther und Bewußtsein als Elemente auffaßten, bleibe dahingestellt. Die θάλασσα der drei von Herakleitos aufgestellten Elemente zerlegte er dabei in Wasser und Luft. Diese Anschauung hat die Wissenschaft des Mittelalters beherrscht und ist

[1]) Aristoteles, De respiratione, cap. VII.

[2]) Ramsay, Vergangenes und Künftiges aus der Chemie. Deutsch von W. Ostwald. Leipzig 1909, S. 41.

aus dem gemeinen Bewußtsein unserer Zeitgenossen noch keineswegs verschwunden. Die beiden Kräfte aber, welche jene Veränderungen bewirken, sind die Liebe (ἡ φιλότης) und der Haß (τὸ νεῖκος), die Anziehung und die Abstoßung nach Plutarch[1]). Anfangs waren die Elemente zu dem σφαῖρος gemischt, in dem nur die Liebe herrschte. Der jetzige Zustand trat ein, als sich der Haß ihr zugesellte, mit dem die Liebe nun in stetem Streite liegt. Nachdem jener die Elemente getrennt hatte, verursachte diese eine Wirbelbewegung, die, sich ausbreitend, die Welt entstehen ließ, indem sich die vier Elemente ausschieden. So entstanden auch Sonne und Mond, der letztere, und das ist ein Fortschritt gegen frühere Ansichten, strahlt aber nur das Licht der Sonne zurück. Da nun alle Wirkung der Stoffe aufeinander auf einer Mischung beruht, so legte Empedokles ihnen Poren und Ausflüsse zu, von denen diese in jene eindringen sollten, so daß auch die Körper aufeinander wirken konnten, während sie doch dem Stoffe nach getrennt blieben. So sollte der Magnet dadurch auf das Eisen wirken, daß von jenem ausgehende Ausflüsse in dieses eindrängen, sollte das Auge sehen können, indem seine Poren Ausflüsse aus den Gegenständen aufnehmen usw.

Anaxagoras. War Empedokles in dem Bestreben, das Sein der Eleaten mit dem Werden des Herakleitos in Einklang zu bringen, zu der Annahme verschiedener Grundstoffe gedrängt worden, so kam der in Klazomenä geborene, später nach Athen übergesiedelte Anaxagoras (um 500 v. Chr.) zu einer ganz ähnlichen Annahme. Es wird vielfach behauptet, daß er ein Schüler des Anaximenes gewesen sei, und in der Tat hat er, da er über das Wesen der Luft größere Klarheit zu erhalten wünschte, mancherlei Versuche angestellt, um durch Nachweis von deren Körperlichkeit das Wesen des leeren Raumes zu erklären. Diese führten ihn auf eine richtige Ansicht von der Entstehung der Winde durch Verdünnung der Luft infolge ihrer Ausdehnung beim Erwärmen[2]), während er, wie Empedokles, zur Erklärung des Donners nichts anderes beizubringen weiß, als daß er durch Auslöschen des Feuers in den Wolken entstehe[3]). Im Gegensatze zu dem Agrigentiner aber nahm er nicht wie dieser nur

---

[1]) Physikalische Lehrsätze der Philosophen. 1. Buch, III. Frage.

[2]) Diogenes Laertius. Lib. II, cap. 3.

[3]) Aristoteles, Meteorol. II. 9.

vier, sondern unendlich viele Urstoffe an, die ihrem Wesen nach voneinander verschieden, aber organisch bestimmt, also Holzteilchen, Fleischteilchen, Eisenteilchen usw. waren. Um anzudeuten, daß sie die gleichen Teilchen der Substanz seien, nannte sie Aristoteles gleichteilige Körper (ὁμοιομερῆ). So wenigstens faßt Aristoteles die Bezeichnung auf. Nach Plutarch waren es ideelle Bestandteile der Körper, die denen ähnlich sind, in welche sie übergehen können, wie z. B. die Nahrung Bestandteile enthält, die ganz bestimmte Körperteile, Blut, Knochen usw. hervorbringen[1]). Die an sich unbeweglichen Homöomerien sind nun durch eine Kraft zum Weltganzen geordnet, und da dieses so schön und zweckmäßig eingerichtet ist, so kann diese Kraft nur die Intelligenz, der Geist (ὁ νοῦς) sein, ein Begriff, der mit dem menschlichen Geist nicht zusammenfällt, sondern als einheitliche Kraft der Vielheit des Stoffes gegenübergestellt wird. Dieser setzte zunächst einen Teil der Substanz in kreisförmige Bewegung, welche Bewegung dann weiter um sich griff und in Zukunft weiter um sich greifen wird, und die eine Scheidung der Stoffe bewirkte. So bildete sich zunächst die Luft oder das Kalte, Dunkle und der Äther oder das Warme, Lichte, aus der Luft aber schied sich das Wasser aus, aus diesem die Erde, die sich Anaxagoras, wie die ionischen Philosophen, als flache Scheibe dachte. Indem nun Teile der letzteren durch die Gewalt des Umschwungs in den Äther geschleudert und daselbst glühend wurden, entstanden die Gestirne, welche teils eigenes, teils zurückgeworfenes Sonnenlicht ausstrahlen, doch blieben zwischen Erde und Mond auch dunkle Körper zurück, welche die Ursache von Mondfinsternissen werden können. Die Grundbestandteile und die allmähliche Veränderung der Dinge können wir allerdings mittels unserer Sinne nicht wahrnehmen, die Sinnesempfindung wird aber nicht durch das Gleichartige, sondern durch das Entgegengesetzte hervorgebracht, so daß der Schnee in der Tat nicht weiß, sondern schwarz sei. Wie die Lehre des Herakleitos und Empedokles, so hat auch die des Anaxagoras die Anregung zu einer sie in nennenswerter Weise weiterführenden Schule nicht gegeben. Der einzige Schüler, von dem wir wissen, Archelaos, wandte sich wieder den Anschauungen der ionischen Schule zu, indem er, soweit wir sehen können, den Geist in den lebenden Wesen an die Luft gebunden erachtete.

---

[1]) Plutarch, Physikalische Lehrsätze der Philosophen. I. Buch, III. Frage.

Die Atomistik. Die Lehre des griechischen Altertums, die mehr als jede andere Bedeutung auch für die neuere Philosophie gehabt hat, die Atomistik, knüpft sich an die Namen Leukippos und Demokritos. Daß der erstere überhaupt gelebt habe, wird von vielen bezweifelt. Schriften von seiner Hand sind nicht auf uns gekommen, auch über den Ort seiner Geburt ist nichts bekannt. Doch scheinen nicht nur Aristoteles, sondern auch dem Melissos und Anaxagoras Schriften von ihm vorgelegen zu haben, nach denen die Zeit seines Wirkens in die Mitte des 5. Jahrhunderts v. Chr. zu setzen sein würde. Über Demokritos sind wir genauer unterrichtet; er war um 460 in Abdera geboren, und lebte, nachdem er Reisen nach Babylon und Ägypten gemacht hatte, bis zu seinem Tode mit wissenschaftlichen Untersuchungen beschäftigt in seiner Vaterstadt. Schon früh hat sich die Sage seiner bemächtigt. Die alten Schriftsteller schrieben ihm ein Zauberbuch zu, aus dem Plinius nicht wenig entnommen hat; auch spätere Schriftsteller, Wieland und Weber, haben sich seiner Person zu Darstellungen bedient, die mit seiner Lehre durchaus nichts zu tun haben.

Diese will, wie die des Anaxagoras, die tatsächlich vorhandenen Veränderungen in der Körperwelt begreiflich machen, ohne den parmenideischen Begriff des Seins aufzugeben. Sie schlägt auch denselben Weg ein wie der Klazomeneer, indem sie neben dem Seienden das Nichtseiende als tatsächlich vorhanden annimmt und dadurch ebenfalls auf unveränderliche kleinste Teilchen kommt, die durch leere Zwischenräume getrennt sind. Diese nehmen aber die Atomiker abweichend von Anaxagoras als stofflich nicht verschieden an, wohl aber unterschieden durch ihre Gestalt und ihre Größe, denen später Epikuros als dritter noch die Schwere zufügte. Indem sie nun ihre Lage und Ordnung ändern können, können sie, sich verbindend, Körper von den verschiedensten Eigenschaften bilden. Sie werden Atome oder, da sie die Grundformen alles Körperlichen darstellen, auch *τὰ σχήματα* oder *αἱ ἰδέαι* genannt. Ihre Größe, Lage, Form und Ordnung bestimmen gewisse Eigenschaften der von ihnen zusammengesetzten Körper. So besteht das Feuer aus kleinen rundlichen Atomen, die seine Beweglichkeit und eindringende Kraft bedingen, beruht die Schwere auf der Menge der im Körper vorhandenen Atome, die Dichtigkeit auf deren engem Beisammensein. Andere Eigenschaften, wie Farbe, Geruch usw. geben nur ein bestimmtes Verhältnis zu unseren Sinnen

an. Denn die Sinneseindrücke entstehen durch Ausflüsse oder Bilder der Dinge, welche von diesen abgelöst werden und in die Seele eindringen. Das Sehen geschieht freilich nicht so, daß diese Abbilder selbst in das Auge gelangen. Sie erzeugen in der Luft einen Abdruck und spiegeln sich so im wässerigen Auge ab[1]). Die Luft hielt er aber keineswegs für ein zum Sehen notwendiges Medium, war vielmehr der Meinung, daß die Deutlichkeit des Sehens infolge ihrer Dazwischenkunft mit der Entfernung abnehme. Anderseits müsse sie erst durch die Sonne verdichtet werden, wenn wir mit ihrer Vermittlung sehen sollten, und deshalb könnten wir im Finstern nicht sehen. Die Sinneseindrücke lassen uns also deren Urbestandteile nicht erkennen, deshalb ist die sinnliche Erkenntnis nur eine dunkle, die wahre Erkenntnis ist dagegen die durch die Vernunft vermittelte, sie besteht aber in einer mechanischen Bewegung der Seele. In allen Dingen finden sich Atome jeder Art, aber, und das bedingt deren Verschiedenheit, in verschiedenem Mischungsverhältnis. Der Grund der als ewig dauernd angenommenen Bewegung der Atome ist jedoch nicht der Zufall, den Demokrit leugnet, sondern die ἀνάγκη, die Naturnotwendigkeit, die für die Atome ihren Grund in deren verschiedener Schwere hat. Vermöge dieser fallen sie nach unten, die größeren, also schwereren, rascher als die kleinen und leichteren, die dadurch nach oben gedrängt werden, und so entsteht die Kreis- und Wirbelbewegung der Atome, die wiederum Ursache wird, daß sich gleichartige Körper anziehen, denn gleich schwere Atome werden dadurch an die gleichen Orte gedrängt. Auf diese Weise sondern sich aus der chaotischen Masse der Atome einzelne Gruppen ab, in denen sich die Atome in enger Vereinigung und Verwicklung zusammenfinden. Das aber ist der Vorgang der Weltbildung. Unendlich groß ist die Zahl der so entstehenden Weltkörper, die verschiedene Größe und Beschaffenheit zeigen, indem sie sich in verschiedenen Entwicklungszuständen befinden. Soweit stimmt Demokrits Weltbildungshypothese mit der überein, die nach fast 2000 Jahren Kant[2]) seiner Naturgeschichte des Himmels zugrunde legte, während aber der Königsberger Weise nun die weitere Ordnung des Weltgebäudes nach den zu seiner Zeit

[1]) Theophrastos, De sensu §§ 50 bis 54; Aristoteles, De sensu, cap. 2, De anima II. 7; vgl. Haas, Antike Lichttheorien. Archiv für Geschichte der Philosophie 1907, Bd. 20. S. 371.

[2]) Kant, Allgemeine Naturgeschichte des Himmels. Königsberg und Leipzig 1755.

bekannten mechanischen Grundsätzen vor sich gehen läßt, nimmt der Abderite zu nach unserem Gefühl phantastischeren Vorstellungen seine Zuflucht. Danach ist die durch die Gesamtheit der Weltkörper dargestellte Welt durch hakenförmige Atome, welche gleichsam eine Haut bilden, abgeschlossen, in ihr aber sondern sich infolge der Wirbelbewegung die leichteren und schwereren Atome. Die meisten von diesen häufen sich in der Mitte an und bilden die scheibenförmige Erde, welche von der Luft getragen wird, einige Massen aber trennen sich ab, werden durch den Umschwung entzündet und bilden nun die Gestirne.

Von Schülern Demokrits werden uns mehrere genannt; zunächst Nessos, dessen und vielleicht auch noch Demokrits Schüler Metrodoros von Chios war, welcher der Atomistik eine skeptische Wendung gab. Ihn verehrte als Lehrer der Begleiter Alexanders des Großen, Anaxarchos, dessen Schüler wiederum der Skeptiker Pyrtho war. Aber auch Nausiphanes, der Lehrer des Epikuros, scheint ein Schüler Metrodors' gewesen zu sein.

δ) Die Sophistik; Übergang auf Sokrates und die Sokratiker.

Die Lehren der Philosophenschulen hatten in weiteren Kreisen des griechischen Volkes Wurzel geschlagen, den Glauben an die Götter erschüttert, die sie entweder leugneten oder durch Eigenschaften des Menschengeistes zu ersetzen oder auf physikalischem Wege zu erklären versucht hatten. Zugleich aber war die ruhmvolle Verteidigung seines Wohnsitzes dem Griechen Veranlassung zu gesteigertem Selbstbewußtsein geworden, und so hatten sich Verhältnisse herausgebildet, wie sie zur Zeit der französischen Aufklärung, wenn auch aus anderen Ursachen, vorhanden waren, die alten kindlichen Anschauungen hatten ihre überzeugende Kraft verloren, neue aber waren nicht an ihre Stelle getreten. Zwar hatten bedeutende Philosophen ihre mehr oder weniger tief eindringenden Gedanken vielfach zu Systemen zusammengefaßt vorgetragen, aber keines dieser Systeme hatte sich behaupten können, sie hatten sämtlich ihre schwachen Punkte gehabt, von denen aus ihre Unhaltbarkeit hatte bewiesen werden können. So blieb dem einzelnen nur als der Fürsorge würdig sein eigenes Ich, und ein keine Schranken anerkennender Egoismus galt als das einzig Vernünftige. Da konnte es nicht überraschen, daß bei der Vorliebe der Griechen für philosophische

Erörterungen sich auch die, welche solchen vorzugsweise ihre Zeit widmeten, die man Philosophen oder auch Sophisten genannt hatte, sich die neue Richtung aneigneten. Während aber die früheren Philosophen es verschmäht hatten, in den Dienst der Menge zu treten, oder gar sich ihre Vorträge bezahlen zu lassen, so fanden die neueren nichts dabei, und da man sie nun insbesondere Sophisten nannte, so erhielt diese Bezeichnung zugleich eine unerfreuliche Nebenbedeutung, obwohl auch die Sophisten Männer aufzuweisen haben, von welchen Platon und Aristoteles, denen wir hauptsächlich die Nachrichten über jene verdanken, mit Achtung sprechen. So namentlich Protagoras, der um 480 in Abdera geboren, mit der herakleitischen Lehre wohl bekannt war, aber kein Schüler des Demokrit, wie dies spätere Schriftsteller behaupteten, gewesen sein kann. Von ihm stammt der bekannte, die Sophistik kennzeichnende Satz: „Der Mensch ist das Maß aller Dinge, des Seienden, wie es ist, des Nichtseienden, wie es nicht ist," ein Satz, der alle objektive Naturerkenntnis ausschließt. Die weitestgehenden Folgerungen freilich zog er noch nicht, wir finden sie bei den späteren mit dem Namen der Sophisten bezeichneten, die es sich zum Ruhme anrechneten, über jedes auch noch so unbedeutende Ding einen längeren Vortrag halten, jede auch noch so unrichtige Behauptung als unwiderlegt nachweisen zu können, wozu sie in des Eleaten Zenon Lehre allerdings manches Brauchbare vorfanden. Demgemäß beschäftigten sie sich mit allen Wissenschaften, aber sie förderten keine mit Ausnahme der Rhetorik, die freilich bei der demokratischen Staatsverfassung Athens für jeden Bürger die höchste Bedeutung haben mußte. Doch haben sie auch die Erkenntnistheorie nicht ganz vernachlässigt, in der Geschichte der Physik sich damit freilich keinen Platz erringen können.

Trotzdem dürfen sie nicht übergangen werden. Stellt doch ihre Lehre eine Konsequenz vor, die bis in die neueste Gegenwart immer wieder einmal von neuem gezogen wird, obwohl sie im Grunde doch nur ein äußerstes Armutszeugnis darstellt. Denn wir sehen ein Volk oder Völker nur dann dazu Zuflucht nehmen, wenn sie am Schluß einer schöpferischen Periode stehen, die bahnbrechenden Geister dahin sind und die nach ihnen kommenden es jenen gleichtun, sie lieber noch übertreffen möchten. Dann ergibt sich die Folgerung von selbst, daß die Leistungen des einzelnen ja doch das allein noch vorhandene Gut sind, und man rechnet es sich nicht als Unbescheidenheit an, die seinigen

mit den der größten Genien auf eine Stufe zu stellen, und es scheint kein Bedürfnis, ja gar keine Möglichkeit, aus dieser Sackgasse wieder herauszukommen.

So fehlte es denn auch den Sophisten Griechenlands nicht an Bewunderung und Belohnung. Da war der Leontiner Gorgias, dessen künstlich gezierte Redekunst, als er 427 als Gesandter nach Athen kam, solchen Beifall fand, daß er eine einflußreiche Rhetorenschule dort gründen konnte, der seine vielen Kenntnisse in prahlerischer Weise zur Schau tragende Hippias aus Elis, der mit Sokrates befreundete Prodikos von Cos, der geldgierige und anmaßende Chalzedonier Thrasymachos, die Brüder Euthydemos und Dionysodoros aus Chios, der Korinther Xeniates, für die Platon manchen Spott und Hohn hat, die aber als Rhetoren und Sophisten eine nicht unbedeutende Rolle spielten. Zu ihnen hielt sich auch Kritias, der zügelloseste der dreißig Tyrannen, die das in 30 jährigem Krieg von seiner Höhe gestürzte Athen durch ihre Schreckensherrschaft entvölkerten, aber auch Euripides, der Dichter und viele andere.

So schien es in Politik, im gesellschaftlichen Leben, in Kunst und Wissenschaft kaum möglich, aus den Fesseln der Sophistik sich zu befreien, wenn nicht ein überlegener Geist neue Gesichtspunkte anzugeben imstande war, wenn es nicht gelang, den Fehler in den Schlüssen der Sophistik nachzuweisen und sie durch fruchtbarere, richtige zu ersetzen. Der Mann aber, der dies leistete und dadurch den Grund zu neuem Aufblühen der Wissenschaft, insbesondere aber der Naturwissenschaft, legte, lebte längst mitten unter den Sophisten, es war der von Aristophanes mit Unrecht ihnen zugezählte Athener Sokrates.

c) Sokrates, Platon und Aristoteles.

α) Sokrates und Platon.

Sokrates[1]) war 469 in Athen geboren und trank 399 den Schierlingsbecher, wozu er verurteilt worden war, weil er die Staatsgötter nicht anerkannt, neue eingeführt und sich der Verführung der Jugend schuldig gemacht habe. Es waren das dieselben Vorwürfe, die man auch den Sophisten machte, und es kann in der Tat nicht ver-

[1]) Sohn des Bildhauers Sophroniskos und der Hebamme Phänarete in Athen, war anfangs Bildhauer, dann Privatmann.

wundern, wenn die Mitwelt den Unterschied seiner Lehre und der der Sophisten nicht ohne weiteres begriff, denn auch Sokrates nahm in gewisser Weise den Menschen als das Maß aller Dinge. Aber nicht das einzelne Individuum mit seiner willkürlichen Tätigkeit, sondern das nach Naturgesetzen bestimmte Denken und Auffassen der ganzen Menschheit, welche wie jeder andere von Natur gegebene Gegenstand wissenschaftlicher Forschung sein kann. Damit war zum ersten Male darauf hingewiesen, daß unsere Naturerkenntnis allein durch unser Denken, die Tätigkeit des menschlichen Geistes erworben werden kann. Soll sie also eine wirkliche werden, so muß sie von allen durch die Auffassung des Einzelwesens hineingekommenen Zufälligkeiten gereinigt werden. Die dazu führende Methode angegeben und an unzähligen Beispielen ausgeführt zu haben, ist das zweite größere Verdienst, das sich der große Athener um die Wissenschaft überhaupt und um die Naturwissenschaft insbesondere erworben hat. Er selbst nannte seine Methode die Mäeutik (Hebammenkunst), indem er darauf anspielte, daß seine Mutter Hebamme gewesen war. Die Mäeutik ist nichts anderes als die Methode der Induktion[1]) mit folgender Deduktion, die Art der Forschung, der die moderne Naturwissenschaft ihre an das Wunderbare grenzenden Fortschritte verdankt, die sie zu unaufhaltsamem weiteren Vordringen befähigt. Zwar trat damals die Wendung zu fruchtbringender Tätigkeit für sie noch nicht ein, denn Sokrates wandte das neue Werkzeug des menschlichen Geistes zunächst nur auf ethische Dinge, auf die Verhältnisse des gewöhnlichen Lebens an, da er die frühere Naturphilosophie in der Sophistik Schiffbruch leiden gesehen hatte, und auch insofern nur unvollkommen, als er es benutzte, um aus den unklaren und widerspruchsvollen Anschauungen des gewöhnlichen Lebens scharf begrenzte unanfechtbare Begriffsbestimmungen herauszuarbeiten. Es dauerte noch zwei Jahrtausende, bis Galilei es auch für die Naturwissenschaften mit Bewußtsein in Anwendung brachte und dadurch der Ausgangspunkt der Zeit des Aufschwunges mit immer steigendem Erfolge wurde, in welcher wir uns noch befinden und deren Ende je länger, je mehr ein Ding der Unmöglichkeit geworden ist. Schriften hat uns Sokrates nicht hinterlassen, das einzige positive Ergebnis seines Denkens, der Satz, daß die Tugend ein Wissen sei, hat sich nicht als haltbar bewiesen, der Schritt aber, den er durch Schaffung seiner

[1]) Aristoteles, Metaphysik XIII. 4.

Methode machte, war ein so bedeutender, daß ihre Aufstellung einer der Marksteine der Wissenschaft überhaupt ist, dem als zweiter die Forderung Kants gegenübersteht, alle Ergebnisse der Wissenschaft mit der Kritik unseres Erkenntnisvermögens auf ihre Haltbarkeit zu prüfen. Was er nun selbst versäumte, das haben seine Jünger, vor allen Platon und Xenophon, mit liebevoller Hingabe nachgeholt, und namentlich sind die Dialoge Platons, die uns sämtlich erhalten sind, ebensoviele Proben von des Meisters Art zu philosophieren. Daß er ihm, dem hochverehrten Meister, wie es die Pythagoreer auch taten, als Ausdruck unbegrenzter Verehrung Forschungsergebnisse zueignet, die sein (des Schülers) Eigentum sind, hat für unsere Betrachtung geringe Bedeutung, denn mit Physik hat sich Platon nie eingehend, viel weniger bahnbrechend beschäftigt. Das gilt in noch höherem Grade von denen seiner Schüler, welche die Geschichte der Philosophie die unvollkommenen Sokratiker zu nennen pflegt, von den durch Antisthenes ins Leben gerufenen Zynikern, zu denen jener bekannte anspruchslose Diogenes von Sinope gehörte, von Aristippos und den Cyrenaikern, endlich von Eukleides und den Megarikern. Für die Geschichte der Physik sind sie ohne Interesse, ihre Bedeutung liegt auf ethischem und dialektischem Gebiete. Dasselbe gilt freilich in der Hauptsache auch von dem vollkommenen Sokratiker, von Platon[1]. Aber einmal hat uns Platon gelegentlich von physikalischen Tatsachen Kenntnis gegeben, welche uns über den Schatz empirischen Wissens seiner Zeit aufklären, und sodann ist seine Ideenlehre auch für die Naturwissenschaft für lange Zeiträume, man kann sagen bis in die Gegenwart, von Bedeutung, ja bestimmend gewesen, so daß sie, wenn sie auch positive Naturerkenntnis nicht gefördert hat, nicht übergangen werden darf. Denn die Ideen Platons kommen mit dem Begriff, Art oder Gattung überein, also der Summe von Kennzeichen, die einer Reihe von Einzelwesen gemeinschaftlich sind, weshalb er sie auch Monaden oder Henaden nennt, und so würden sich seine Ideen bis in die Gegenwart haben behaupten können, wenn ihnen ihr Urheber im Gegensatz zu den Einzelwesen nicht die reale Existenz zugesprochen hätte, während

[1] Platon, Sohn des Aristo, 429 bis 348 v. Chr., eigentlich Aristokles, war in Athen geboren, lebte nach Sokrates' Tod in Megara und auf Reisen, die ihn nach Ägypten, Großgriechenland und Sizilien führten, kehrte 388 nach Athen zurück, wo er in dem Gymnasium des Heros Akademos bis zu seinem Tode lehrte, nur mit Unterbrechung durch zwei weitere Reisen nach Sizilien im Jahre 365 und 361.

diesen nur eine negative zukommen sollte. Diese stellten das Nichtseiende, den Raum dar. Die Ideen aber bilden eine Welt für sich, die das allein wahre, von allen sinnlichen Unvollkommenheiten freie Sein verwirklicht, zu der das in der Sinnenwelt befangene hinstrebt. So finden wir in den Ideen das eleatische Sein wieder, während das Heraklitische Werden in der fortdauernden Veränderung der chaotisch flutenden formlosen Materie anklingt, die, wie das Holz, die Hyle, von den Arbeitern in immer andere Formen gebracht wird, ihre Gestalt immer wieder ändert, um welcher Eigenschaft willen der ungeformte Stoff auch später noch diesen Namen behalten hat. Mit der Annahme der Pythagoreer, daß das Wesen aller Dinge die Zahl sei, tritt die Platons von der ausschließlichen Wirklichkeit der Ideen in Parallele. Aber er erkannte sehr wohl, daß „an die Bestimmung der Dinge durch mathematische Formen gleichzeitig ihre Realität und ihre Erkennbarkeit geknüpft ist“[1]). Noch engeren Zusammenhang weist Platons Lehre mit der der Pythagoreer auf; wie er sich als ein Mittleres zwischen Geist und Körper die Seele dachte, so überbrückte er den zwischen den das Sein darstellenden Ideen und der nicht seienden Sinnenwelt klaffenden Spalt durch die Annahme der Weltseele, die als bewegendes Prinzip ielle Zahlen- und Maßverhältnisse in sich faßt und nach pythagoreischem Muster durchaus nach Maß und Zahl wirkt. Indem sie die Ordnung im Weltgebäude hervorruft und erhält, stellt sie die höchste Vernunft dar, wie sie auch die Ursache aller Vernunft in den Seelen der Einzelwesen ist. So schließt sich auch Platon hinsichtlich des Aufbaues der Elemente aus Bestandteilen, deren Wesen durch die regulären Körper gegeben ist, dem Pythagoreer Philolaos eng an. Daß er aber eine wirklich körperliche Materie als Urstoff voraussetzt, ergibt sich aus der Art, wie er die einzelnen Elemente ineinander übergehen läßt. Nach seiner Ansicht zerfallen sie nicht in kleinste Teilchen von der betreffenden Form, sondern in die Dreiecke, aus denen ihre Begrenzungsflächen bestehen. Diese aber zerlegte er wieder in gleichschenklig-rechtwinklige und in rechtwinklige mit den beiden anderen Winkeln von 30° und 60°. Aus dem Würfel denkt er dann das Element Erde zusammengesetzt, aus den anderen regulären Körpern die übrigen Elemente; es enthält demnach das Feuer 24, die Luft 48, das Wasser 120 solcher Dreiecke. Letztere getrennt, lassen

---

[1]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik, Hamburg und Leipzig 1890, Bd. I, S. 61.

sich aber anderweitig wieder zusammensetzen, deshalb können Feuer, Wasser und Luft ineinander übergehen, die Erde aber muß Erde bleiben. Das Dodekaeder nimmt eine gesonderte Stellung ein, da es sich nicht in die obigen Dreiecke zerlegen läßt. Das nämliche aber gilt vom Äther. Die Erde als schwerstes Element nimmt den mittleren Raum ein, um sie ordnen sich die übrigen nach ihrer Schwere. Diese beruht aber auf der Bewegung zum Verwandten, die allem gemein ist und so die Richtung der natürlichen Bewegung vorschreibt[1]). Denn auch die Luft ist schwer und drückt infolgedessen die Erde in hohem Grade[2]). Wenn nun auch Platon das Dasein eines leeren Raumes leugnet, so gibt er doch zu, daß vorübergehend solche von jenen kleinsten Teilchen verlassene Räume, Poren, entstehen können. Durch die der Erde muß sich das Wasser vermöge der Größe seines Teilchen einen Weg bahnen, wodurch Auflösung eintritt, ebenso das Feuer, wenn die Erde stark zusammengepreßt ist, was dann das Schmelzen zur Folge hat. Aber auch durch Zerspalten seiner Teile kann der Körper zerstört werden. Mit der Pythagoreer Lehre kommt auch Platos Lehre vom Weltgebäude nahe überein. Wenn er auch die Bewegung der Erde um das Zentralfeuer aufgibt und sie sich im Mittelpunkte des Weltalls als ruhend denkt, so behält er doch deren Kugelgestalt bei und läßt sich um sie und zugleich um die Weltenachse die Fixsternsphäre einmal am Tage drehen. Diese führt ebenso die sieben Planetensphären mit sich herum, doch besitzen diese noch eine eigene längere Zeiträume erfordernde Drehung, welche in schiefer Richtung gegen die Weltenachse von West nach Ost erfolgt. Die Gestirne selbst aber sind belebte Wesen, denen eine unendliche Vernunft zukommt, ebenso wie das ganze Weltall ein solches ist.

Ob sich Platon die Erde ruhend vorstellte oder ob er sie sich um ihre, d. i. ebenfalls die Weltenachse, drehend dachte, darüber gingen die Ansichten der Forscher bereits im Altertum auseinander und tun es auch jetzt noch. Der Ausdruck, dessen sich Platon zur Darlegung seiner Ansicht bedient, ist nämlich zweideutig, er kann drehen, aber er kann auch ballen oder wickeln bedeuten. Die Darstellung des literarischen Streites, der um die wahre Ansicht des Philosophen entbrannt ist, findet sich ausführlich bei Wolf[3]) und bei Heller[4]). Beide

---

[1]) Platon, Timaios cap. 63. — [2]) Platon, Timaios cap. 25.

[3]) R. Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877, S. 31 bis 35.

[4]) A. Heller, Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit. Stuttgart 1882, Bd. I, S. 32 bis 39.

kommen zu dem Ergebnis, daß Platon die Achsendrehung gelehrt habe, der erstere nimmt außerdem an, daß er erst im Laufe seiner Studien zu dieser Ansicht vorgeschritten sei, ja hält es sogar für gar nicht unmöglich, daß Platon gegen Ende seines Lebens auch zur Annahme des heliozentrischen Systems gelangte, wenn er sich auch gescheut habe, sie auszusprechen. Sei dies doch damals ebenso gefährlich gewesen, wie viel später noch zu den Zeiten Galileis. Mit Sicherheit wird sich die Frage nicht mehr entscheiden lassen, da uns hier Aristoteles im Stiche läßt, welcher denselben zweideutigen Ausdruck wie Platon selbst gebraucht.

Was nun Platons Kenntnisse einzelner physikalischer Tatsachen[1]) angeht, so treten uns solche hier und da in seinen Dialogen entgegen, wo er sie als Gleichnisse benutzt, so, wenn er im Symposion[2]) von dem Wollstreif redet, durch welchen das Wasser aus dem vollen in den leeren Becher fließt, oder im Jon[3]) darauf aufmerksam macht, daß der Magnet nicht nur selber eiserne Ringe anzieht, sondern dieselbe Kraft in die Ringe verlegt, so daß diese auch andere anziehen können. Aus demselben Dialog ergibt sich, daß man damals den Magneten schlechtweg den Stein nannte, sowie daß ihn Euripides zuerst als Magneten bezeichnet hat. Diese Mitteilung beruht indessen auf einem Mißverständnis. Doch scheint der letztere Namen damals in Gebrauch genommen zu sein, da wir ihn auch bei Aristoteles in Verwendung finden[4]). Daß die bereits bei den Babyloniern oder Assyrern als Brennglas benutzte Sammellinse, wovon bereits die Rede war, auch zu Sokrates und Platons Zeiten eine allgemein bekannte war, geht aus den Wolken des Aristophanes hervor, in denen dieser den Strepsiades dem Sokrates den guten Rat geben läßt, wie mit Hilfe solcher Gläser lästige Rechnungen vernichtet werden könnten. Man brauche sie eben nur in die Sonne zu halten und unvermerkt mittels des Brennglases die in Wachs eingeritzten Zeichen zusammenschmelzen zu lassen. Seine Ansicht vom Sehen hat Platon im Verlauf seines Lebens geändert. Während er noch im Timaios

---

[1]) Vgl. hierüber auch E. O. v. Lippmann, Chemisches und Physikalisches aus Platon. Journal für praktische Chemie, Neue Folge, Bd. 76, 1907, S. 513.

[2]) Platons Gastmahl, übersetzt und erläutert von E. Zeller, Marburg 1857, S. 6.

[3]) Jon. ed. Metzler V. 15, S. 316.

[4]) Urbanitzky, Elektrizität und Magnetismus im Altertume. Wien 1887, S. 3.

die Ansicht vertritt, daß Strahlen vom Auge, ähnlich denen des Lichtes, aber nicht brennend, ausgehen und an den Gegenständen verwandte äußere Strahlen treffend das Sehen bewirken, so nähert er sich im Theaitet bereits der Ansicht, die der von Empedokles vertretenen nahe kommt, daß auch vom Gegenstande Strahlen ausgehen, die mit denen vom Auge kommenden sich begegnen und so das Bild hervorrufen[1]). Wenn ihn nun auch Platon nicht erwähnt, so muß doch zu seiner Zeit der Fackeltelegraph allgemein bekannt gewesen sein, der, obwohl ihn auch erst Polybios beschreibt, nach Thukidides ein bekanntes strategisches Hilfsmittel im Peloponnesischen Kriege war. Erfunden von Kleoxenes und Diokleites bestand er aus einer Tafel mit den in einem Quadrat zusammengestellten Buchstaben des Alphabets, die durch Fackeln bezeichnet wurden, welche man in der nötigen Wiederholung über oder zur Seite eines quadratischen Brettes zu mehreren Malen hervorstreckte[2]).

Platon hatte seinen Schülern seine Lehren in den schattigen Laubgängen des dem Heros Akademos geweihten Gymnasiums vorgetragen, in dessen Nähe er ein Landhaus besaß. Seine Schule nannte man deshalb die akademische, die ältere Akademie, zum Unterschied von der später zu erwähnenden jüngeren. Ihr stand nach des Meisters Tode sein Neffe Speusippos vor, dem Xenokrates und nach diesem andere als Lehrer der nach philosophischer Erziehung strebenden Jugend folgten. So bildeten sich die Philosophenschulen im eigentlichen Sinne des Wortes aus, in denen das Lehramt stets von dem Lehrer auf den Schüler überging. Platons Lehre aber hat seine Schule nicht fortgebildet, sie ging vielmehr immer mehr auf diejenige der Pythagoreer zurück, wie sie denn an Stelle der platonischen Ideen ohne weiteres die pythagoreischen Zahlen setzte, auch die Achsendrehung der Erde mit Entschiedenheit vertrat. So scheint der der Akademie, aber auch den Pythagoreern zugerechnete Herakleides aus Herakleia in Pontos, der um 360 v. Chr. lebte, von beiden gelernt zu haben, als er sich die Planeten um die Sonne, diese aber um die ruhende Erde drehen ließ. Von ihm soll auch die Bezeichnung ὄγκοι, Korpuskeln oder Körperchen für die Atome

---

[1]) Vgl. auch Haas, Antike Lichttheorieen. Archiv für Geschichte der Philosophie 1907, Bd. 20, S. 372.

[2]) Polybius Lib. X cap. 15 u. 16. Vgl. Karath, Geschichte der Telegraphie. Braunschweig 1909, S. 26.

herrühren, wie uns Dionysius von Alexandrien, von dem später die Rede sein wird, mitteilt[1]). Die eigentliche Fortbildung der Lehre Platons blieb demjenigen seiner Schüler vorbehalten, der allein mit der Gründung einer eigenen Schule hervortrat, dessen von den alten Schriftstellern gerügte Rücksichtslosigkeit, ja Feindschaft und Undankbarkeit gegen seinen Lehrer jedoch in das Reich der Fabel zu verweisen ist, blieb vorbehalten dem für die späteren Zeiten weitaus einflußreichsten unter den griechischen Philosophen, dem Stagiriten Aristotèles.

β) Aristoteles.

Leben des Aristoteles und allgemeine Stellung seiner Lehre.

Aristoteles, der Sohn des Nikomachos, des Leibarztes und Freundes des Königs Amyntas von Makedonien war 384 v. Chr. zu Stagira in Thrakien geboren, erhielt aber nach dem frühen Tode seines Vaters seine Erziehung durch Proxenos aus Akarneus in Mysien, bis er in seinem 18. Lebensjahre nach Athen ging, um an Platons Unterricht teilzunehmen. Bis zu dessen Tode blieb er in Athen, wandte sich dann wieder nach Akarneus, später nach Mytilene, von wo er vom Könige Philipp als Erzieher seines Sohnes Alexander an den mazedonischen Hof berufen wurde. Hier blieb er bis zum Jahre 336, zu welcher Zeit er sich nach Athen zurückbegab. Indem er dort in dem Säulengange des Lykeions hin- und herwandelnd dem Lehrberuf oblag, daneben aber wohl auch seine Vorträge hielt, gründete er die Schule der Peripatetiker, verließ aber seine neue Heimat, als ihm 323 v. Chr. eine Anklage wegen Frevels an den Göttern drohte, damit nicht, wie er gesagt haben soll, die Athener sich zum zweiten Male an der Philosophie versündigten. Er zog sich auf sein Landgut in Chalkis auf Euböa zurück, wo er im folgenden Jahre starb. In dem Verhältnis zu seinem großen Schüler war im Laufe der Zeiten eine Abkühlung eingetreten, daß er aber durch Teilnahme an der Vergiftung Alexanders eine schwere Schuld auf sich geladen habe, wie ihm vorgeworfen wurde, ist schon deshalb unrichtig, weil der Vernichter des Perserreiches gar nicht vergiftet worden ist. Auf seinem Charakter haftet nicht der leiseste Makel, obwohl spätere Schriftsteller ihn herabzuziehen vielfach versucht

[1]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik, Bd. I. Hamburg und Leipzig 1890, S. 15.

haben. Auch andere an seinen Namen sich knüpfende Nachrichten haben sich als Legenden erwiesen, so namentlich die von Strabo und Plutarch mitgeteilte, daß seine von Theophrast aufbewahrten Schriften nach dessen Tode von seinen Erben verwahrlost und in diesem Zustande erst zu Sullas Zeit wieder aufgefunden worden seien. Alle Schriften des großen Forschers sind uns allerdings nicht erhalten, andere wohl nur in Bruchstücken auf uns gekommen. Aber so viele davon verloren gegangen sein mögen, die erhaltenen reichen aus, nicht nur, um uns von seiner Lehre ein vollständiges Bild zu geben, sondern in ihm auch einen Gelehrten erkennen zu lassen, wie ihn die Welt hinsichtlich des Umfanges des Wissens, der Schärfe des Denkens und der Knappheit der Darstellung kaum zum zweiten Male gesehen hat. So hat er zwei Jahrtausenden nach seinem Tode den Stempel seines Geistes aufgedrückt, freilich nicht immer zum Vorteil der Wissenschaft; denn starr darin festhaltend, stellte sie ihren immer mehr erstarrenden Inhalt aller Fortentwicklung entgegen, und noch Galilei entging mit genauer Not dem Scheiterhaufen, der zu seiner Zeit jedem drohte, der an Aristoteles Lehre oder an dem, was dafür gehalten wurde, zu rütteln wagte.

Die Ideenlehre Platons verwarf zwar der Stagirite, gleichwohl war seine Philosophie doch auch eine idealistische. Namentlich kam er in der Ansicht mit jenem überein, daß die Natur stets das Beste unter dem möglichen, nichts unvernünftig und nichts vergebens tue[1]). Während jener nur die Ideen als Seiendes, das von ihnen verschiedene Sein aber als nicht Seiendes aufgefaßt hatte, so hält dieser dafür, daß das von den Ideen verschiedene Sein doch vorhanden sein müßte, da es ja die Veranlassung zu den Ideen gebe[2]). Trotzdem sieht er das wirkliche, das aktuelle Sein in der Form der Dinge[3]), welcher Begriff bei ihm den der Idee ersetzt, aber dieser Form stellt er den Stoff, die ὕλη gegenüber, als das mögliche, das potentielle Sein, das durch jene erst zum Sein entwickelt wird[4]). Ein bestimmter Stoff ist die Möglichkeit der Form, deren Stoff er ist, und umgekehrt ist jede Form die

---

[1]) Tim. 53. D., De Coelo II, 5, 288 a 2, II, 11, 2916, 13. Vgl. Haas, Ästhetische und teleologische Gesichtspunkte in der antiken Physik. Archiv für Geschichte der Philosophie, Bd. 22, 1908, S. 83.

[2]) Vgl. auch Physik III, 1.

[3]) Aristoteles, Metaphysik XIV, 2.

[4]) Metaphysik V, 2, VII. 8, XII. 3.

Wirklichkeit des Stoffes, dessen Form sie ist. So ist der Stoff weder etwas Räumliches noch etwas Wirkliches, ein völlig unphysikalischer Begriff, der nur auf unser Denken Bezug hat. Stoff ist eben nur die Bezeichnung dafür, daß irgend etwas die Möglichkeit etwas zu werden in sich enthält. So ist ihm z. B. das Licht der actus des Durchsichtigen, insofern es durchsichtig ist; worin es aber nur potentia ist, da kann auch Finsternis sein[1]). Er hält potentiell eine Teilbarkeit ins Unendliche für ausführbar, aktuell aber für unmöglich[2]). Denn ein Zusammenhängendes ist stetig, wenn die sich berührenden Grenzen des Zusammenhängenden Teile ein und desselben sind. Wenn aber unteilbare Größen sich berühren, so müssen sie gänzlich zusammenfallen, berühren sie sich aber nicht, so kann auch keine stetige Größe entstehen. Sie ist also in actu auch nicht in Unteilbares zu zerlegen, denn sonst würde der unmögliche Fall eintreten, daß ein Unteilbares das andere berührte[3]). Kann aber Unteilbares nicht bestehen, so kann man auch keine unendlich große Anzahl von Atomen annehmen. In ähnlicher Weise findet dann Aristoteles, daß die Annahme der Atome jede Bewegung und Veränderung unmöglich macht[4]). In ähnlicher Art begegnet er auch der Schwierigkeit bei der Beantwortung der Frage nach der Möglichkeit unseres Wissens, an der die Sophisten gescheitert waren. Was wir nicht wissen, hatten sie gemeint, können wir auch nicht untersuchen, was wir wissen aber brauchen wir nicht erst zu lernen, und Platon hatte sich zu helfen gesucht, indem er die Seele als in der Vergangenheit und Zukunft unsterblich und damit eine Seelenwanderung angenommen hatte, die alles Lernen als ein Wiedererinnern erscheinen ließ. Aristoteles dagegen hält dafür, daß die Anlage zum Wissen allerdings in uns vorbereitet, also potentiell vorhanden sei, daß wir aber diese Anlage nur durch Vermittlung der Erfahrung zum wirklichen Wissen ausbilden können.

---

[1]) Nach der Übersetzung von Wilde, Geschichte der Optik, I. Bd., S. 6. Die Stelle lautet in Aristoteles *Περὶ ψυχῆς*, Lib. II, cap. 7: *Φῶς ἐστὶν ἡ τούτου ἐνέργεια τοῦ διαφανοῦς, ᾗ διαφανές· δυνάμει δὲ ἐν οἷς τοῦτό ἐστι, καὶ τὸ σκότος.* Heller gibt diese Übersetzung als von Goethe im zweiten Teil seiner Farbenlehre gegeben an. Dies muß auf einer Verwechslung beruhen; in der Farbenlehre findet sich die Übersetzung nicht.

[2]) Plutarch, Physikalische Lehrsätze der Philosophen, 1. Buch, 16. Frage. Aristoteles Phys. III, 6, 207, b.

[3]) Phys. VI. 1, 2316.

[4]) Phys. VI. 2 und VIII. 10. Laßwitz, a. a. O. I, 104.

Mit diesem Hinweis auf die Wichtigkeit der Erfahrung für die Ausbildung unseres Wissens war ein gewaltiger Schritt vorwärts getan. Finden wir nun diesen Gedanken auch zum ersten Male in den Schriften des Aristoteles ausgesprochen, so ist es doch möglich, daß er eigentlich einem anderen Schüler Platons, dem 409 in Knidos geborenen Eudoxos gehört, der, nachdem er Ägypten besucht hatte, 359 nach Athen zurückkehrt, dort aber bereits 356 gestorben war. Von seinen Schriften ist nichts auf uns gekommen; aus dem, was uns Diogenes von Laerte, Hipparchos, Aristoteles und andere darüber mitteilen, geht hervor, daß er ein hervorragender Geometer und Astronom war. Der Stagirite führt als seine Ansicht die an, daß nur die Erfahrung die Quelle unserer Naturerkenntnis sein könne, die er zu der seinigen macht, wenn er auch noch weit davon entfernt blieb, sich auf Empirie im Sinne der gegenwärtigen Naturwissenschaft stützen zu wollen. Dazu fehlen ihm so gut wie alle notwendigen Hilfsmittel. Instrumente gab es nur für astronomische Beobachtungen, von einer Bearbeitung der Ergebnisse auf Grund mathematischer Erörterungen konnte wohl kaum die Rede sein. Denn quantitative Bestimmungen kennt Aristoteles nicht, und so kommt es, daß er bei seinen Versuchen oft zu fehlerhaften Ergebnissen gelangt. Da er nun nicht imstande war, die Empfindung räumlich zu objektivieren, so fehlte ihm eben die Möglichkeit, das Empirische mathematisch zu fixiren[1]). Doch möchte es fast scheinen, als habe der Stagirite, wenn auch dunkel, die Notwendigkeit gefühlt, seine Gesetze aus empirischen Tatsachen abzuleiten. Wenn ihm dazu nun auch die Methode der Induktion zur Verfügung stand, so fehlte ihm doch die Kenntnis eben jener Tatsachen, und es blieb ihm nichts übrig, als an deren Stelle die Meinungen früherer Philosophen oder gar diejenigen, welche sich das Volk gebildet hatte, zu benutzen. So hat er dann oft genug auf dialektischem Wege Schwierigkeiten, Aporien, wie er sie nennt, hinwegzuräumen gesucht, die in der Tat nur durch weitere Beobachtungen zu heben waren. Treffend sagt darüber Goethe[2]): „Die Schwierigkeit, den Aristoteles zu verstehen, entspringt aus der antiken Behandlungsart, die uns fremd ist. Zerstreute Fälle sind aus der gemeinen Empirie aufgegriffen, mit gehörigem und geistreichem Räsonnement begleitet,

[1]) Vgl. Laßwitz a. a. O. I, 99.

[2]) Goethe, Materialien zur Geschichte der Farbenlehre. Ausg. in 6 Bd. Stuttgart 1803, Bd. VI, S. 320.

auch wohl schicklich genug zusammengestellt; aber nun tritt der Begriff ohne Vermittlung hinzu, das Räsonnement geht ins Subtile und Spitzfindige, das Begriffene wird wieder durch Begriffe bearbeitet, anstatt daß man es nun deutlich auf sich beruhen ließe, einzeln vermehrte, massenweise zusammenstellte und erwartete, ob eine Idee daraus entspringen wollte, wenn sie sich nicht gleich von Anfang an dazu gesellte." Aber aus dieser Arbeitsweise wird man ihm kaum einen Vorwurf machen können, wenn man bedenkt, daß die Arbeiten zweier Jahrtausende nötig waren, bis man begriff, daß ohne die empirische Grundlage auch die Induktion nichts anderes sei als eine Methode ohne Gehalt, die zu einem leeren Klügeln führen müsse[1]).

Einem solchen begegnen wir in der Tat in allen den Fällen, wo ohne ausreichendes empirisches Material nichts auszurichten war. Aber es beweist auch die Bedeutung der Induktion, und Aristoteles' Art, wie er die mechanischen Probleme behandelte, zeigt, daß er Verständnis und ein richtiges Gefühl für das Wesen derselben hatte. Zwar scheint auch die Absicht der sie enthaltenden Schrift auf den ersten Blick nur die zu sein, Aporien zu lösen, dabei aber kommt er zu Ergebnissen, die ihn die wissenschaftliche Mechanik schaffen lassen. Der Vorwurf freilich, der der philosophisch-mathematischen Behandlung mechanischer Probleme auch heute noch zu machen ist, für einen aprioristischen Beweis zu halten, was sich auf eine, wenn auch öfters versteckt liegende empirisch gefundene Tatsache, ein Axiom aufbaut, trifft allerdings auch ihn, aber es würde ungerecht sein, davon einen Zweifel an der Größe dessen, was ihm die Wissenschaft verdankt, hernehmen zu wollen. Man begegnet so häufig der unhaltbaren Ansicht, daß der wirklich große Forscher, der eine neue Zeit einzuleiten berufen ist, mit den Anschauungen der seinigen von Grund aus gebrochen haben müsse. Losgelöst von ihnen erscheint er in einer fast unbegreiflichen Größe dazustehen. Um ihn aber loszulösen, muß man seine Arbeiten auf das gezwungenste deuten, muß man seine Leistungen mit dem Maße messen, welches man an solche der Gegenwart anzulegen wohl berechtigt ist. Auf solche Weise kommt man freilich aus den Widersprüchen nie und nimmer heraus. Und doch ist es nicht schwer, einzusehen, daß sich so die geschichtliche Entwicklung nicht vollzogen haben kann. Ein jeder Forscher steht ja zunächst auf dem Boden seiner Zeit und muß not-

---

[1]) Goethe, ebenda S. 333.

wendigerweise von dem ihm Überlieferten ausgehen. Nur indem er die Kraft hat, sich von diesem frei zu machen, bringt er eine neue Zeit herauf, aber dies wird ihm kaum auf allen Arbeitsgebieten gelingen, und dieser seltsame Widerspruch, dem wir auch in den Arbeiten eines Galilei, eines Leibniz begegnen, der sich aus dem Nebeneinanderbestehen von Ideen, die wir kindisch nennen möchten, neben Gedanken, die weit ihrer Zeit vorauseilen, ergibt, ist nicht nur das sicherste Zeichen ihrer Größe, er bringt die großen Genien in der Geschichte der Wissenschaften auch menschlich so viel näher.

Die Weltanschauung des Aristoteles.

Sokrates hatte gelehrt, daß die weltbildende Vernunft, die Gottheit, die Welt so eingerichtet habe, daß sie geeignet sei, das Dasein des Menschen zu einem glücklichen zu machen; Platon war ihm in dieser teleologischen Anschauung gefolgt, wenn er auch zur Erklärung des Vorhandenseins der Ideen physikalische Ursachen mit wirksam sein ließ; Aristoteles ging einen Schritt weiter, indem er die Zwecktätigkeit der Natur nicht als eine bewußte aufgefaßt haben will. Daran freilich, daß sie vorhanden ist, zweifelt auch er nicht. Denn der von ihm festgehaltene Gegensatz zwischen Form und Stoff[1]) macht es ihm unmöglich, die Zweckmäßigkeit allein auf physikalische Ursachen zurückzuführen, und so bezieht er sich immer wieder auf die Natur im gemeinüblichen Sinne des Wortes, ohne daß er dazu gelangt, klar darzulegen, was er darunter verstanden haben will. Einen Vorwurf darf man dem Stagiriten daraus nicht machen. Denn „Natur ist nicht eine transzendente Welt von Objekten, mit ihr eigenen unveränderlichen Gesetzen, denen das menschliche Denken nach und nach sich anzupassen hätte, Natur ist auch nicht die bunte Mannigfaltigkeit der Erscheinung, insofern sie regellos vor unseren Sinnen auftaucht, sondern Natur, als das Objekt wissenschaftlicher Erfahrung ist derjenige aus diesem Erlebnis herausgeschälte Teil, welcher durch ein Verfahren des Bewußtseins, das wir die Gesetzlichkeit des Verstandes nennen, als Wirklichkeit objektiviert ist, so daß er der Erkenntnis und der Darstellung in zweifellosen Gesetzen zugänglich und fähig ist."[2]) So wechselt der Begriff der Natur mit dem Stande der wissenschaftlichen Erkenntnis.

---

[1]) Phys. I, 7.

[2]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik, Bd. I. Hamburg und Leipzig 1890, S. 80.

Die Welt dachte sich Aristoteles aus kugelförmigen Sphären bestehend, welche sich ineinander geschachtelt nach der Anschauungsweise der Pythagoreer und Platons um die in ihrer Mitte in Ruhe befindliche Erde herumdrehen. Eine jede von ihnen überträgt Bewegung auf die ihr benachbarte. Denn alles Bewegte wird von einem andern bewegt mit alleiniger Ausnahme des ersten Bewegenden, des Himmels. Dieser, die Fixsternsphäre erhält seine Bewegung von der Weltseele oder der Gottheit, die demnach in der Welt keinen Platz hat. Die Fixsternsphäre umschließt die jedem Planeten eigentümliche. Denn da die Bewegung der Planeten sich nicht durch die einer einfachen Umdrehung der Sphäre erklären ließ, so hatte schon Eudoxos den Ausweg ergriffen, für jeden Planeten, die Sonne und den Mond, mehrere Sphären zu setzen, die ihre Bewegung aufeinander übertrugen. Eudoxos hatte 27 angenommen, Kalippos hatte 7 weitere hinzugefügt. Aber auch mit diesen 34 glaubte Aristoteles die Bewegung der Himmelskörper nicht vollständig erklären zu können, er nahm für die einzelnen nach Bedürfnis noch andere an, im ganzen noch 22, so daß er über 56 verfügte, mit deren Hilfe sich nun die verwickelten Planetenbewegungen erklären ließen. Aus der Beobachtung des Erdschattens bei Mondfinsternissen und des Verhaltens der Sterne für einen in nördlicher und südlicher Richtung Reisenden schloß er auf die Kugelform der Erde. Ihren Umfang nahm er zu 400 000 Stadien an, was 39 900 km gibt, das Stadium zu 99,75 m gerechnet. Während nun die Sphären um so weniger vollkommen sind, je tiefer sie unter der Fixsternsphäre, dem Himmel, lagern, so herrscht in der Welt unter dem Monde in noch unvollkommenerer Weise der Wechsel des Entstehens und Vergehens, der wiederum auf dem Vorhandensein der vier Elemente beruht. Wie im Himmel die drei absoluten Gegensätze des Oben und Unten, Vorn und Hinten, Rechts und Links herrschen, so kommen unter dem Monde noch die des Warmen, Kalten, Trockenen und Feuchten[1]) hinzu. Sie bilden das zweite Prinzip[2]), während das erste durch die erste Materie, den potentiellen Körper gebildet wird, den die Form erst aktuell macht. Das dritte Prinzip aber sind die vier Elemente selbst, die durch die Vereinigung je zweier dieser gegensätzlichen Grundeigenschaften, so durch das Kalte und Trockene die Erde, durch das Kalte und Feuchte das Wasser, durch das Warme und Feuchte

---

[1]) Meteor. IV, 1. — [2]) Den gen. et corr. II, 1.

die Luft, endlich durch das Warme und Trockene das Feuer; die Vereinigung des Trockenen und Feuchten, Kalten und Warmen geben, da sie sich widersprechen, kein Element. Die Elemente sind zwar unzerlegbar, können aber ineinander verwandelt werden, indem eine der Eigenschaften die andere überwiegt, so das Trockene in der Erde, das Kalte im Wasser, das Feuchte in der Luft, das Warme aber im Feuer. Sie kommen freilich nirgends rein vor, vielmehr enthalten die irdischen Körper alle, wenn auch in ungleichem Maße. Sie sind somit nicht mit den gleichnamigen irdischen Körpern zu verwechseln, und deshalb schlägt Laßwitz[1]) vor, sie lieber als Erdstoff oder Trockenstoff, Flüssigkeitsstoff, Luftstoff oder Kältestoff und Feuerstoff oder Wärmestoff zu bezeichnen. Indem nun eine der beiden Grundeigenschaften durch eine andere aufgehoben wird, geht ein Element in ein anderes über; hebt z. B. die Wärme die Kälte des Wassers auf, so entsteht Luft, Feuer aber tritt auf, wenn in der Luft das Feuchte durch das Trockene aufgehoben wird. Auf solchen Umwandlungen beruht alles Werden und Vergehen in der Natur, wobei nur die Form nicht aber die Quantität sich nicht ändert.[2]) Diese Veränderungen hängen von der Bewegung des Himmels ab, da die Wärme und Kälte von den Gestirnen beeinflußt werden.

Jeder der genannten Stoffe hat nun seinen bestimmten „natürlichen" Ort im Weltganzen, dem er zustrebt[3]), wie schon Anaxagoras, vielleicht sogar auch Herakleitos annahmen[4]). Da nun die Erde absolut schwer, das Feuer aber absolut leicht ist, so lagert diese zu unterst, jenes zu oberst. Dazwischen befinden sich Wasser und Luft. Das Wasser ist relativ schwer, d. h. es „erscheint immer als schwer, ausgenommen, wenn es sich in einem Raume mit der Erde befindet," die Luft aber ist relativ leicht, denn sie zeigt sich nur als schwer, „wenn sie nicht mit Erde oder Wasser umgeben ist" und so ist „jedes Element, abgesehen vom Gegensatze mit dem andern schwer, das Feuer ausgenommen"[5]). Wenn deshalb der fallende Stein seinem Ort, der Erde,

---

[1]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik, Bd. I. Hamburg und Leipzig 1890, S. 98.

[2]) Meteor. II, 3. S. 357 b, 30. — [3]) Phys. IV, 1.

[4]) Nach Diogenes Laert. II, 3, 5 und IX, 1, 8—9; vgl. Haas, Die Grundlagen der antiken Dynamik. Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und Technik 1908, Bd. I, S. 22.

[5]) De Coelo IV, 4: *ὕδωρ πανταχῆ βαρὸς ἔχει πλῆν ἐν γῇ ἀὴρ βαρὸς ἔχει πλῆν ἐν ὕδασι καὶ γῇ ἐν τῇ αὐτοῦ χωρᾷ· πάντα βαρὸς ἔχει πλὴν πυρός.*

zustrebt, bewegt sich die Luft nach oben, aber keines dieser Elemente gelangt in die Welt über dem Monde, für sie wird deshalb ein fünfter Grundstoff angenommen, der Äther, den die spätere Zeit als die *πέμπτη οὐσία*, die quinta essentia, die Quintessenz, bezeichnete. In ihm treten keine Gegensätze auf, wie in den übrigen Elementen, und so ist die Erde im Wasser, das Wasser in der Luft, die Luft im Äther, der Äther im Himmel, der Himmel aber nicht wieder in einem andern.[1])

Daß die Luft schwer sei, hat Aristoteles auch experimentell begründen zu können geglaubt. „Der Beweis ist," sagt er, „daß ein Schlauch, wenn man ihn aufbläht, schwerer wird als wenn er leer bleibt."[2]) Das hat er natürlich nur durch Wägung bestimmen können, wenn er es nicht ohne eine solche Begründung annahm. Nun wirft er aber an einer anderen, allerdings verdorbenen Stelle die Frage auf, warum aufgeblasene Schläuche schwimmen, während nicht durch die Luft ausgedehnte untersinken. „Die Luft ist es also," schließt er weiter,[3]) „die den Schlauch schwimmend erhält: aber wie ist dieses möglich, da die eingeblasene Luft doch den Schlauch schwerer macht? und wie geht es zu, daß der Schlauch schwimmt, wenn er schwerer und zu Grunde geht, wenn er leichter geworden ist?" Die Antwort auf diese Frage bleibt der Stagerite schuldig. In neuerer Zeit hat Erman[4]) die Antwort zu geben gesucht, die sich übrigens bereits bei Simplicius findet (Duhem L. P. Marin Mersenne et la Pesanteur de l'Air. Revue générale des Sciences pures et appliquées. 17. Année 1906, S. 769). Wenn, wie man annehmen müsse, die Schläuche mit dem Munde aufgeblasen seien, so hätte die mit der Luft eingeführte Feuchtigkeit diese Gewichtsvermehrung bewirkt. Von der Richtigkeit dieser Annahme hat er sich durch eigens dazu angestellte Versuche überzeugt. Er muß dann freilich den etwas gewagten weiteren Schluß machen, daß Aristoteles bereits über sehr empfindliche Wagen verfügt habe. Da darüber weitere Nachrichten fehlen, so scheint die Annahme nicht ausgeschlossen, daß die Schwere der Luft lediglich eine logische Folgerung

---

[1]) Phys. IV,5.

[2]) De Coelo IV. 4. *καὶ ὁ ἀὴρ βαρὸς ἔχει πλὴν πυρὸς, καὶ ὁ ἀὴρ σημεῖον δ'ὅτι ἕλκει πλεῖον ὁ πεφυσημένος ἀσκὸς, τοῦ κενοῦ.*

[3]) Mech. Probl. Sect. XXV. Quaestio 13. *εἰδὲ ὁ ἀὴρ ἀνακουφίζει καὶ κωλύει κάτω φέρεσθαι, διὰ τι βαρύτερον γένονται φυσηθέντες· καὶ πῶς, ὅτε μεν βαρυτερός ἐστιν ἐπιμένει κουφότερος δὲ γενόμενος καταφέρεται?*

[4]) Erman, Gilberts Annalen 1804, Bd. 16, S. 385.

war. In der Tat haben Ptolemaios und Simplicius, die das Experiment wiederholten, die Gewichtszunahme des mit Luft gefüllten Schlauches nicht beobachten können.[1])

Das Warme und Kalte nun faßt Aristoteles als aktives Prinzip zusammen, im Gegensatz zu dem Trockenen und Feuchten, die das passive Prinzip bilden. Jenes wirkt mit doppelter Kraft, dieses aber ist zwei Beeinflussungen ausgesetzt[2]). In allen Erklärungen des Sichtbaren ist es aber von Bedeutung, wie Kälte und Wärme sich zueinander und dem Trockenen und Feuchten gegenüber verhalten. „Wie wir aber aus der Tatsache, daß die unterirdischen Höhlen in der warmen Jahreszeit kalt, in den kalten Jahreszeiten dagegen warm zu sein scheinen, ersehen, daß zwischen der Wärme und Kälte ein gegenseitiges Abstoßen besteht, so müssen wir annehmen, daß es in der obern Region geschieht. Auch dort wird die Kälte, wenn sie in den wärmeren Jahreszeiten durch die sie umgebende Wärme antiperistiert wird, verursachen, daß bald Regen, bald Hagel aus den Wolken hervortritt"[3]). Den Begriff der Antiperistasis, d. i. die Gegenwirkung der umgebenden Körper, der erst von Boyle aus der Wissenschaft wieder ausgemerzt wurde, nachdem er während des Mittelalters sich fast ungeteilten Beifalls erfreut hatte, ist hier zum ersten Male ausgesprochen. Nach ihm sollten Wärme und Kälte oder allgemeiner jede Qualität, wenn sie von ihrem Gegensatze umgeben wurde, eine sich selbst verstärkende Kraft erhalten[4]). Daher stellen nach Aristoteles viele Leute, wenn sie schleunig kaltes Wasser haben wollen, es erst in den Sonnenschein, umgießen die Leute am Pontus, wenn sie ihre Zelte, um Fische zu fangen, auf dem Eis aufstellen wollen, die Rohre mit heißem Wasser, damit sich schneller Eis um sie bilde, mit dem sie die Rohre feststehend machen,[5]) bringen die nördlichen Winde, die kalt sind, meist Gewitter und durch die Kälte entsteht der Blitz, der aus den Wolken hervorgetrieben wird, indem sie sich vereinigen[6]). Ferner sagt man, daß die Kälte brenne, weil sie die Wärme sammelt oder antiperistiert.[7]) Die

[1]) Simplicius, de coelo, S. 710, 14 ed. Heiberg.

[2]) Meteorol. IV, 5, 6.

[3]) Meteorol. I, 12, 11.

[4]) Kristine Meyer, geb. Bjerram, Annalen der Naturphilosophie 1904, Bd. III, S. 413.

[5]) Meteorol. I, 12, 16. — [6]) Meteorol. II, 6, 21.

[7]) Meteorol. II, 5,5.

Beobachtung, daß man Flüssigkeiten unter Asche länger warm halten kann, als freistehend[1]), mußte er natürlich nach demselben Grundsatz deuten. Ähnliche Anschauungen finden wir bei Theophrastos[2]). So glaubte man mit diesem Prinzip den Hagel, die starken Regengüsse im Sommer und in den heißen Ländern, den Tau, den Blitz, den Wind, die Erdbeben, die Bewegung der Meteore erklären zu können.

Mit der Luft hat sich Aristoteles um deswillen eingehender beschäftigt, weil er ihr, wie sogleich gezeigt werden soll, eine bedeutende Rolle in seiner Bewegungslehre zuschreibt. Er tadelt diejenigen seiner Vorgänger, die „die leeren Schläuche recken und strecken und dabei zeigen, wie stark die Luft sei, oder indem sie die Luft in Wasseruhren festhalten," die „unter dem Leeren eine Ausdehnung verstehen, in der kein sinnlich wahrnehmbarer Körper ist"[3]). Er aber hält dafür, daß man nicht zeigen müsse, „daß die Luft etwas ist, sondern daß es keine von den Körpern verschiedene Ausdehnung gibt, weder trennbar von ihnen, noch der Wirklichkeit (dem Aktus) nach seiend, die den ganzen Körper auseinander hielte, so daß er nicht mehr kontinuierlich wäre"[4]), wie die Atomiker behaupten. So kommt er dann dazu, die Möglichkeit des leeren Raumes überhaupt zu leugnen, ja er glaubt, wie wir sehen werden, sogar streng beweisen zu können, daß seine Annahme widersinnig ist. Daß er die Luft noch nicht vom Wasserdampf unterscheidet, wird man ihm weniger anrechnen dürfen, da diese Unterscheidung erst spät gelang. „Während die Erde unbeweglich ist," läßt er sich über diesen Punkt vernehmen[5]), „wird die sie umgebende Flüssigkeit der Sonnenstrahlen und der von oben kommenden Wärme wegen emporgehoben. Wenn die Wärme, die sie emporgehoben, anfängt, auszubleiben, entweder weil sie sich in den oberen Regionen verteilt oder weil sie erlischt, indem sie höher in die die Erde umgebende Luft hinaufgeführt wird, dann wird der Dampf, der durch das Schwinden der Wärme und der Örtlichkeit wegen abgekühlt wird, sich aufs neue verdichten und aus Luft, was er ja ist, wieder zu Wasser werden." So nahm er denn auch als Ursache der Erdbeben die Gewalt des sich plötz-

---

1) Mechan. Problem. Cap. XXIV.

2) De igne § 13.

3) Physik IV, 9, VIII, 4.

4) Aristoteles, Acht Bücher der Physik. Übersetzt von C. Prantl. Leipzig. IV. Buch, 6. Kap.

5) Aristoteles, Meteorol. I, 9, 2.

lich in Luft verwandelnden Wassers an. Übrigens war ihm bereits das Drehungsgesetz des Windes mit der Sonne bekannt[1]). Die von ihm aufgestellte Windrose enthielt Striche nach acht Himmelsgegenden[2]), während Homer nur Benennungen für die vier Hauptwindrichtungen hatte[3]). Sie wurde von Theophrast genau übernommen, auch von Eratosthenes, was gleich hier bemerkt sein mag, wieder hergestellt, nachdem der Admiral Timosthenes sie durch eine zwölfteilige ersetzt hatte. Auch der berühmte von Andronicus Kyrrhestes um 200 v. Chr. in Athen erbaute, noch vorhandene Turm der Winde[4]) führt nur die acht des Aristoteles auf[5]). Die Benennungen der Winde im Altertum aber war eine schwankende[6]).

Des Aristoteles Bearbeitung mechanischer Fragen.

Während man früher den Inhalt der *Μηχανικὰ προβλήματα* ziemlich abfällig beurteilte, ist man je länger je mehr anderer Ansicht geworden, und der neueste Geschichtschreiber der Mechanik P. Duhem[7]) spricht sich wie folgt aus: „Die Alten haben uns wohl nur wenige Denkmäler ihrer gründlichen Untersuchungen über die Gesetze des Gleichgewichtes hinterlassen, aber solche, welche einer ewigen Bewunderung würdig sind. Von diesen Denkmälern sind ohne Widerrede die schönsten das Werk des Aristoteles über mechanische Fragen und die Abhandlungen des Archimed." Bei Beurteilung der mechanischen Werke des Stagiriten kommt es eben auf den Gesichtspunkt an, aus dem man sie betrachtet. Vom rein mathematischen Standpunkt aus angesehen, befriedigen sie allerdings kaum, um so mehr aber vom philosophisch-

[1]) Ebenda II, 48.

[2]) Ebenda II, 6, 6.

[3]) Odyssee V, 295.

[4]) Abgebildet in Gerland und Traumüller, Geschichte der physikal. Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 54.

[5]) Kauffmann und Wernicke, Paulys Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaften. Neue Bearbeitung, herausg. von Wissowa, Stuttgart 1894, Bd. I, S. 2667; Bd. II, S. 719.

[6]) Kaibel, Antike Windrosen. Hermes XX, 1885, S. 579.

[7]) P. Duhem, Les Origines de la Statique, T. I. Paris 1905, S. 5: De leurs recherches profondes touchant les lois de l'équilibre, les anciens nous ont laissé des monuments peu nombreux, il est vrai, mais dignes d'une éternelle admiration. De ces monuments les plus beaux, sans contredit, sont le livre consacré par Aristote aux questions mécaniques et les traités d'Archimède.

mathematischen, führten sie doch, wie sogleich gezeigt werden soll, zu zwei so wichtigen Entdeckungen, wie der des Hebelgesetzes und des Satzes vom Parallelogramm der Kräfte. Das Richtige dürfte Mach[1]) treffen, wenn er sagt: „Aristoteles weiß Probleme zu erkennen und zu stellen, sieht das Prinzip des Bewegungsparallelogramms, kommt der Erkenntnis der Zentrifugalkraft nahe, ist aber in der Lösung der Probleme nicht glücklich. Die ganze Schrift (die mechanischen Probleme) hat mehr einen dialektischen als naturwissenschaftlichen Charakter und begnügt sich, die „Aporien", Verlegenheiten zu beleuchten, welche sich in den Problemen aussprechen. Die Schrift charakterisiert übrigens sehr gut die intellektuelle Situation, welche den Anfang einer wissenschaftlichen Untersuchung bedingt."

Sodann hat man die Form seiner Untersuchung, die seine Forschungsmethode wiedergibt und an die sokratische Methode erinnert, öfters getadelt. Zunächst leitet er die zu Widersprüchen führenden Erscheinungen durch ein nach ihrem Grund suchendes „Warum?" ein und sucht dann deren Erklärung, welche die Widersprüche hebt. Er verfährt also ebenso, wie später Newton bei der Darstellung noch zu lösender Aufgaben. Diese bilden den Inhalt der am Schlusse seiner Opticks aufgeführten 31 mit »Do not, Are not, Have not« usw. beginnenden Fragen[2]), die nach dem Stande der damaligen Wissenschaft beantwortet werden, ohne daß für die gegebene Lösung eine experimentelle Bestätigung gegeben werden kann. Neben den Ergebnissen der übrigen Arbeiten beider großen Forscher würden diese kaum zu erwähnen sein, wenn die in ihnen enthaltenen Irrtümer nicht lange fortgewirkt hätten, bis es gelang, auf Grund von Experimenten, wie sie erst spätere Zeiten anstellen konnten, die von ihnen ausgehenden Irrtümer zu beseitigen.

Der Begriff der Bewegung (κίνησις), den wir bei Aristoteles finden, ist ein weiterer, als der, den man der modernen Dynamik zugrunde legt. Versteht doch der Stagirite unter Bewegung den Übergang von der Möglichkeit zur Wirklichkeit, und so steht es für ihn fest, daß alles in der Natur in Bewegung sei. In jeder Veränderung sieht er deshalb eine Bewegung, allen Veränderungen aber liegt eine räum-

[1]) E. Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt. 5. Aufl. Leipzig 1904, S. 10.

[2]) Newton, Opticks. 2. Ed. London 1718, S. 313 ff.

liche Bewegung zugrunde. Ihre Kenntnis reicht freilich zum vollen Verständnis eines beobachteten Vorganges nicht aus, dazu gehört notwendig auch die seines Zweckes. Denn nicht ist der Stoff die Ursache des Endzweckes, sie bedingt vielmehr die Verwirklichung des Stoffes und so ergibt sich die Notwendigkeit einer eingehenden Behandlung der Mechanik.

Dabei machte Aristoteles noch keinen Unterschied zwischen der Dynamik und der Statik, zwischen der Lehre von der Bewegung und vom Gleichgewicht und konnte ihn auch nicht machen. Denn den Zustand der in ewiger Bewegung begriffenen Sphären mußte er doch als einen Zustand vollkommenen Gleichgewichtes auffassen, der nie aufhören kann, weil er in der Natur begründet ist. Eine solche Bewegung, die weiter keines Antriebes bedarf, ist deshalb eine Bewegung nach der Natur, und eine solche ist es demnach auch, welche die fallenden Körper ausführen. Sie streben nach dem Mittelpunkte des Alls hin und kommen in Ruhe, sobald sie diesen erreicht haben, alle anderen Bewegungen aber bedürfen, wenn sie dauern sollen, eines fortgesetzten, fremden Antriebes (impetus); sie sind mithin Bewegungen wider die Natur oder gewaltsame, denn von Natur aus bleiben sie nicht bestehen. Freilich, meint Aristoteles, „könnte wohl niemand angeben, warum etwas, was einmal in Bewegung gesetzt worden ist, irgendwo stille stehen sollte,“ da er aber diesen an den Begriff des Beharrungsvermögens anklingenden Satz nur für die Bewegung nach der Natur gelten lassen will, so muß er für die Bewegung wider die Natur, z. B. die eines geschleuderten Körpers nach einer sie immer wieder erneuernden Ursache suchen. Wenn nun auch einige meinen, daß ein solcher Körper, wenn diese Ursache, das Fortstoßende, aufhört, ihn zu berühren, durch Gegendruck (Antiperistasis) in Bewegung erhalten werde, so ist der Stagirite der Ansicht, daß dies erfolgt, „weil die fortgestoßene Luft ihn wieder in einer Bewegung fortstößt, die schneller ist als die Raumbewegung des fortgestoßenen Körpers, in der er an seinen heimatlichen Ort bewegt wird“. Er bewegt sich also so lange, bis die der Luft von dem ursprünglich Stoßenden eingegebene Kraft vernichtet ist. Daß die damit verbundene Reibung den Körper erhitze, war ihm bekannt. Gibt er doch an, daß Geschoße von Blei bei ihrem Fluge durch die Luft bis zum Schmelzen erhitzt werden können[1]), und war geneigt, mit

---

[1]) Aristoteles, De Coelo II, 7, 289 a, S. 21.

Anaxagoras[1]) die Wärme und das Licht der Gestirne einem solchen Reibungsvorgange zuzuschreiben.[2])

Eine Bewegung nach der Natur ist eine vollkommene, wenn sie ohne Ende weiter geht und sich selbst stets gleich bleibt; sie wird unvollkommen, wenn sie diese Merkmale nicht besitzt. Bewegen sich demnach irdische Körper im Kreise, so müssen besondere Umstände diese Bewegung unterhalten. Sie ergeben sich aus der Zusammensetzung einer Bewegung nach mit einer solchen wider die Natur. Beim Zusammenstoßen zweier Körper hört die erstere auf, da aber die den Körper entsendende Kraft ihn weiter treibt, so muß er sich zurück oder zur Seite bewegen[3]). „Wenn aber etwas," sagt er, „nach irgendeinem Verhältnis bewegt wird, so daß es eine gerade Linie durchlaufen muß, so wird sie die Diagonale sein, welche die in diesem Verhältnis zusammengesetzten Linien bestimmen." Änderten nun zwei Bewegungen in jedem Augenblick ihr Verhältnis zueinander, so wäre es unmöglich, damit eine Gerade zu durchlaufen. Das beweist Aristoteles aus dem Begriffe der Stetigkeit[4]), indem er die Bewegung auf die die kleinsten Teile der Linie beschreibende zurückführt, den Raum aber, durch den der bewegte Punkt fortschreitet, sich ebenfalls, jedoch in einer anderen Richtung fortbewegt denkt. So entwickelt er den Satz vom Parallelogramm der Geschwindigkeiten, da er ihn aber nicht als völlig neue Erkenntnis einführt, so scheint diese eine überlieferte gewesen zu sein. In der Tat lehrten bereits Eudoxos und Kalippos die Zusammensetzung von Bewegungen[5]). Aus der Annahme der tangentialen Bewegung mit der Natur und der radialen wider sie, gelingt es ihm dann, die Kreisbewegung abzuleiten. Als Beispiel dafür führt er die Erscheinung an, daß in einem Becher befindliches Wasser nicht heraus fällt, wenn der Becher so einen senkrechten Kreis beschreibt, daß der Boden sich immer außen befindet. Die schnelle Bewegung im Kreise erhält sich und hindert den Körper, dem sie mitgeteilt wird, einer andern zu folgen[6]). So kommt es, daß

[1]) Plutarchos, Lysander. Kap. 12.

[2]) Aristoteles, De Coelo II, 7, 289a, S. 19.

[3]) Aristoteles, Mechanische Probleme XVI, 13.

[4]) Über diesen siehe auch Aristoteles, Physik III, 1, VI, 1, 2.

[5]) Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes. Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft 1884, Bd. XV, S. 84.

[6]) Aristoteles, De Coelo II, 13.

runde, namentlich kugelförmige Körper vor andern die größte Beweglichkeit zeigen.

Auch die Wirkungsweise des Hebels sucht Aristoteles auf die Kreisbewegung zurückzuführen. Da die Assyrer bereits den zweiarmigen Hebel zur Fortbewegung der großen Lasten ihrer Steinkolosse[1]), die Ägypter ihn bei ihren Wagen benutzt hatten, so war er ihm bekannt. Er denkt sich ein langes Parallelepiped in der Mitte aufgehängt oder unterstützt und durch das wagerecht schwebende die senkrechte Mittellinie durch den Aufhängepunkt gelegt. Bringt er nun an der einen Hälfte ein Gewicht an, so senkt sich diese, und die Verlängerung der Senkrechten wird im ersten Falle nach der emporgehobenen, im zweiten nach der sich senkenden Seite abgelenkt. Nimmt man nun das Übergewicht ab, so muß die gehobene Hälfte im ersten Falle herabsinken, da sie die schwerere ist, im zweiten Falle bleibt sie die schwerere und muß demnach in ihrer Lage verharren, denn es ist gleichsam noch das Gewicht des über die Senkrechte hinausgehenden Stückes des gesenkten Teiles des Rechteckes über die Hälfte aufgelegt. Die Aporie aber, warum kleine Kräfte am Hebel große Lasten bewegen, wenn man noch die Last des Hebels hinzufügt, beantwortet er folgendermaßen: „Am Hebel vereinigen sich drei Punkte, die Unterlage, der Aufhängepunkt und der Mittelpunkt und zwei Lasten, die bewegende und die bewegte. Die bewegte Last aber steht zu der bewegenden in einem umgekehrten Verhältnisse mit ihren Entfernungen (vom Mittelpunkte); und immer wird die Bewegung desto leichter bewirkt, je weiter das Bewegende sich von dem Mittelpunkte entfernt aus der angeführten Ursache, daß der größere Halbmesser einen größeren Kreis beschreibt und daher einerlei Kraft das Bewegende desto weiter aus seiner Stelle bringt, je weiter es von seiner Unterlage entfernt ist." Dies führt er nun auf die Kreisbewegung zurück. „Denn ungereimt erscheint es, daß eine große Last durch eine kleine Kraft, jene noch verbunden mit einer größern Last, bewegt werde. Wer ohne Hebel eine Last nicht bewegen kann, bewegt sie leicht, die eines Hebels noch hinzufügend. Von allem diesem liegt die Grundursache im Wesen des Kreises, und zwar sehr natürlich: denn nicht ungereimt ist es, daß aus dem Wunderbaren etwas Wunderbares hervorgeht. Eine Verknüpfung aber entgegengesetzter Eigen-

[1]) Vgl. die Abbildung bei Merckel, Die Ingenieurtechnik des Altertums. Berlin 1899, S. 34, Abb. 8.

schaften in eins ist das Wunderbarste. Nun ist der Kreis wirklich aus solchen zusammengesetzt. Er wird sogar erzeugt durch etwas Bewegliches und etwas an seinem Orte Verharrendes[1])." So deutet Aristoteles das Hebelgesetz für den zweiarmigen Hebel an. Ob er auch den einarmigen kannte, muß dahin gestellt bleiben. Man wird es kaum annehmen dürfen, da er das Ruder und den Mast des Schiffes als zweiarmigen Hebel betrachtet.

Hat die Folgezeit auf diesen Arbeiten des Stagiriten weiter bauen können, so war dies nicht der Fall mit den Ansichten, die er über den Fall der Körper sich bildete. „Welches auch die Kraft sein mag, welche die Bewegung hervorruft," meint er[2]), „der kleinere und leichtere erhält durch diese Kraft mehr Bewegung" und weiter: „Die Geschwindigkeit des kleineren Körpers wird sich nämlich zu der des größeren verhalten, wie der größere Körper zum kleineren." Von der Betrachtung der verschiedenen Geschwindigkeit eines Körpers in verschiedenen Medien ausgehend, kommt dann Aristoteles dazu, die Möglichkeit des leeren Raumes, wie bereits erwähnt wurde, zu leugnen. Denn da schwere Körper im Wasser langsamer fallen als in der Luft, weil diese feinteiliger ist, so wird in demselben Verhältnis, in dem sie feinteiliger ist, der Körper rascher fallen. Dies würde in einem noch feinteiligeren Medium in noch höherem Maße der Fall sein; der Raum aber ist von unendlicher Feinheit, also müßte in ihm die Geschwindigkeit des fallenden Körpers unendlich groß sein oder keine Zeit erfordern. Da aber eine zeitlose Bewegung unmöglich ist, so kann ein Körper sich nicht durch den leeren Raum bewegen, dieser muß also unmöglich sein[3]).

Von diesem Gesetz des freien Falles ausgehend, hat sich der Stagirite eine eigene Ansicht von der Bewegung gebildet. Jeder in Bewegung befindliche Körper soll danach zwei Wirkungen ausgesetzt sein, der einer Kraft und der eines Widerstandes. Proportional mit dieser wächst sie, proportional mit jener nimmt sie ab, eine Ansicht, die ihn freilich mit der von ihm ebenfalls als Wahrheit anerkannten, daß ein Körper in Ruhe bleibe, so lange Kraft und Widerstand gleich seien, in Widerspruch setzte. Beim Fall soll die Kraft durch das Gewicht, der Widerstand durch den Widerstand des Mittels gegeben sein. Danach

---

[1]) Mechanische Probleme, Kap. 1. Siehe auch Mach, a. a. O. S. 11.
[2]) De Coelo III, 2. — [3]) Physik IV, 8.

müßten die Geschwindigkeiten eines fallenden Körpers umgekehrt proportional dem spezifischen Gewicht sein, eine Annahme, deren Prüfung durch das Experiment man freilich erst 1800 Jahre nach Aristoteles vorgenommen hat.

Obwohl die Annahme der ungleichen Fallgeschwindigkeiten verschiedener Körper in demselben Mittel nach unseren Begriffen unrichtig ist, so erkannte doch noch Galilei im Beginne seiner Laufbahn sie als richtig an, doch zeigt sich in dieser Annahme des Stagiriten, der vom Widerstande der Luft noch keine Ahnung hat, sein richtiges Gefühl. Man möchte in den dargelegten Überlegungen eine Vorahnung des Grundsatzes sehen, den zum Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten erst eine viel spätere Zeit ausarbeiten sollte[1]).

Wenn wir dann freilich wieder Aristoteles die Ansicht aussprechen hören, daß ein Stück Holz vom Gewichte eines Talentes (26,10 kg) im Wasser leichter wird, wie ein Stück Blei, welches nur eine Mine (0,437 kg) wiegt, so muß man zugeben, daß er über das Gleichgewicht von Körpern, die in eine Flüssigkeit tauchen, doch noch ganz im Unklaren war. Es verfügte seine Zeit auf diesem Gebiete über ein sehr geringes Wissen. Man kannte wohl die Tatsache, daß ein Schiff bei ungeänderter Ladung in süßem Wasser tiefer einsinkt wie im Seewasser, daß ein Ei in reinem Wasser zu Boden sinkt, in Salzlake aber schwimmt. Weitere Folgerungen hatte man aber aus diesen Beobachtungen noch nicht gezogen, und so ist der obige Ausspruch nur die Beschreibung einer bekannten Tatsache, aber keineswegs ein Versuch, in das Wesen der obwaltenden Verhältnisse einzudringen. Erwähnt sei auch, daß Aristoteles bereits von einem Werkzeug zum Tauchen redet, einer Kappe nach Art eines Kessels, die den Kopf des Tauchers umgeben sollte und demnach die Kenntnis davon voraussetzt, daß die Luft das Wasser abhält, in ein untergetauchtes umgestürztes Gefäß einzudringen[2]).

Aristoteles Ansichten über den Schall und das Licht.

Das empirische Material, das dem Stifter der peripatetischen Schule zur Verfügung stand, um die Erscheinungen des Schalles und des Lichtes zu erklären, war kein unbedeutendes, doch beschränkte es sich hauptsächlich auf Erscheinungen, die sich von selbst dem aufmerk-

---

[1]) Vgl. auch Duhem, Les origines de la Statique. Paris 1905, S. 9.

[2]) Mechan. Probleme XXX, § 5.

samen Beobachter aufdrängten. So kannte er das Echo, wußte, daß der Schall nachts besser und auf größere Entfernungen gehört werden könne, glaubte freilich, daß dies im Winter in höherem Grade als im Sommer der Fall sei. Den Grund für diese Erscheinung sieht er in der Abwesenheit des Heißesten, welches alles ruhiger und leitender macht, da die Sonne der Grund jeder Bewegung ist[1]). Aber er hatte auch die von den Pythagoreern gesammelten Kenntnisse zu seiner Verfügung, und diese waren vermehrt durch die Beobachtung, daß in ähnlicher Weise, wie eine Saite von halber Länge die höhere Oktave des der Saite von einfacher Länge zukommenden Ton gibt, so auch eine Pfeife von halber Länge die höhere Oktave des der Pfeife von einfacher Länge entsprechenden Tones erklingen läßt. Der Ton aber sollte dadurch entstehen, daß er die Luft auf angemessene Weise in Bewegung setzte, wobei sie zusammengedrückt und auseinandergezogen, durch die Stöße des tönenden Körpers aber immer wieder so fortgestoßen werden sollte, daß sich der Ton nach allen Richtungen ausbreitete.

Die von ihm gegebene Erklärung vom Wesen des Lichtes bricht mit der Annahme des Empedokles und Platon, daß dessen Wahrnehmung durch eine Ausströmung aus dem Sehorgan hervorgerufen werde und schließt sich der des Demokritos an, wonach das Sehen durch eine Bewegung des Mittels zwischen dem Auge und dem Gesehenen erfolge, wenn auch nicht durch eine Berührung oder durch Ausflüsse, da man ja sonst im Dunkeln würde sehen können. Dieses Medium nennt er das „Durchsichtige", welches er zunächst als dunkel annimmt, so lange es noch potentiell durchsichtig ist. Aus diesem geht das aktuell Durchsichtige durch die Einwirkung der Körper hervor, in deren Natur es liegt, Helligkeit zu erzeugen, wie das Feuer oder das immer aktuell durchsichtige fünfte Element, der Äther. In diesem Zustand aber wird das Medium durchsichtig, indem eine qualitative Änderung mit ihm vorgeht, und kann nun die Einwirkung der Farben der Gegenstände auf das Auge vermitteln. Man darf also nicht, wie es Ziaja[2]) tut, das Licht als eine Bewegung des alle Körper durchdringenden Äthers ansehen, denn dann würde es keine Finsternis als potentielle

---

[1]) Nach der Übersetzung von A. v. Humboldt. Gilberts Annalen 1820, Bd. 65, S. 41.

[2]) Ziaja, Die aristotelische Anschauung von dem Wesen und der Bewegung des Lichtes. Programm. Breslau 1896.

Durchsichtigkeit geben können[1]); auch wird in den echten Schriften des Stagiriten das Licht weder als eine Bewegung des Äthers, noch überhaupt als räumliche Bewegung betrachtet[2]). Der Übergang von der potentiellen zur aktuellen Durchsichtigkeit ist also von dem Vorgang, der die Farbe dem Auge übermittelt, wohl zu unterscheiden und nur, wenn das Objekt selbstleuchtend ist, decken sich beide Vorgänge. Das Feuer kann deshalb auch im Dunkeln gesehen werden. Somit ist es völlig ungerechtfertigt, wenn man dem Stagiriten die Annahme einer Wellentheorie unterlegt[3]). Immerhin ist der von ihm gemachte Fortschritt zu betonen, der darin liegt, daß das Licht nicht als etwas Körperliches, sondern als eine Tätigkeit des zwischen den Körpern enthaltenen Durchsichtigen gedacht wird, daß im Zustand der Ruhe Dunkelheit ist, weil damit die Möglichkeit der Undulationstheorie gegeben wurde[4]).

Die verschiedenen Farben leitet er aus den einfachen Farben her, nämlich denjenigen, welche die Elemente begleiten. Luft und Wasser aber sind ihrer Natur nach weiß, das Feuer und die Sonne gelb. Auch die Erde ist ursprünglich weiß, erscheint aber ihrer Tingierung wegen vielfarbig. Dagegen begleitet Schwarz als dritte Grundfarbe die Elemente, wenn sie ineinander übergehen. Die übrigen Farben entstehen aus der Mischung der einfachen. Wie nun die Töne, wenn sie nach einfachen Zahlenverhältnissen miteinander verbunden werden, eine angenehme Empfindung erregen, so tun dies auch die Farben, welche aus den einfachen nach einfachen Verhältnissen gemischt sind, das sind Purpur und Scharlach. Auf andere Weise wirken die Farben, welche durch eine so innige Mischung der einfachen entstehen, daß deren Teilchen weder neben- noch übereinander liegen, sondern sich auf das vollkommenste durchdringen. Aber auch wenn eine einfache Farbe durch eine andere hindurch fällt, können Farben entstehen, wie denn

---

[1]) Haas, Archiv für Geschichte der Philosophie 1907, Bd. 20, S. 380.

[2]) Zeller, ebendaselbst 1900, Bd. 13, S. 605. Ziaja (Zu Aristoteles Lehre vom Lichte. Programm. Leipzig 1901) hält dem von Zeller gemachten Einwand entgegen, daß Zeller selbst (Geschichte der Philosophie der Griechen, 3. Aufl., Bd. II, 2, S. 351) bemerke, jede Entelechie sei eine Bewegung, daß aber Aristoteles das Licht eine Entelechie nenne.

[3]) Wie Wilde 1832 tat. Da er aber in seiner 1838 erschienen Geschichte der Optik diese Ansicht fallen gelassen hat, so hat Heller (Geschichte der Physik, Stuttgart 1882, Bd. 1, S. 69) ihm daraus ungerechtfertigterweise einen Vorwurf gemacht.

[4]) Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik, 2. Aufl. Hamburg und Leipzig 1896, S. 248.

die durch Nebel oder Rauch gesehene weiße Sonne rot erscheint. Wie sich Aristoteles die Entstehung der Farbe im einzelnen Falle denkt, wird demnach nicht recht klar. Helmholtz[1]) faßt des Stagiriten Ansicht so auf, daß er unschlüssig gewesen sei, „ob er diese Vermischung als eine wahre Verschmelzung oder mehr als ein atomistisches Über- oder Nebeneinanderliegen denken soll." So wird auch die Klarstellung seiner Meinung durch seine weitere Annahme erschwert, daß das Dunkel durch die Reflexion an den Körpern entstehen müsse, da jede Reflexion das Licht schwäche.

Auch mit dem Regenbogen und den Halos hat sich Aristoteles eingehend beschäftigt[2]). Die Abhängigkeit der Lage der ersteren von dem Stande der Sonne und die Lage des zweiten Regenbogens hat er beobachtet und auch die umgekehrte Reihenfolge der Farben in beiden ist ihm nicht entgangen. Auch den Mondregenbogen kannte er, sowie denjenigen, der entsteht, wenn durch die Ruder der Schiffe Wassertropfen emporgeworfen und zerstäubt werden. Er läßt den Bogen zwar nur aus Rot, Grün und Violett bestehen, bemerkt aber, daß zwischen Rot und Grün häufig auch noch eine fahle Farbe sichtbar wird. Zur Erklärung des Regenbogens nimmt er an, daß die einzelnen, die Wolke zusammensetzenden Wassertröpfchen, wie kleine Spiegel wirkten, wegen ihrer Kleinheit aber nicht die Form, sondern nur die Farbe des das Licht aussendenden Gegenstandes zurückwerfen könnten. Aber auch in die Wolke eindringen können die Lichtstrahlen. Ob nun das eine oder andere vorherrscht, richtet sich danach, ob sie mehr oder weniger schräg einfallen. Die am schrägsten einfallenden werden am wenigsten leicht eindringen können, also am stärksten zurückgeworfen werden. Sie müssen somit die lebhafteste Farbe, d. i. die rote zeigen. In ähnlicher Weise entstehen die übrigen Farben. Hat demnach der Stagirite auch die Brechung des Lichtes gekannt, so hat er davon eine irgendwie klare Vorstellung noch nicht gehabt, wie auch aus der von ihm aufgestellten Aporie, warum ein schief zur Oberfläche in ein Gefäß mit Wasser gestellter Stab geknickt erscheint, geschlossen werden muß.

Seine Anschauungen „über die Farben" sind in einer diesen Titel tragenden Schrift etwas weiter ausgeführt, die Plutarchos und Pachymeres dem Aristoteles, Simon Portius, der

---

[1]) Helmholtz, ebendaselbst S. 306.

[2]) Wilde, Geschichte der Optik. Berlin 1838, 1. Bd., S. 9.

sie 1548 ins Lateinische übersetzte, dagegen, ebenso wie Hieronymus Mercuri dem Theophrastos zuschreiben. Sie werden also die Lehre der peripatetischen Schule wiedergeben, wie sie auf der aristotelischen fußend weiter ausgebildet wurde. Goethe[1]) freilich ist geneigt, sie dem Stagiriten selbst zuzuschreiben. Dagegen spricht allerdings, wie Wilde zu Recht bemerkt, daß die Schrift über die Farben den beiden Grundfarben des Stagiriten noch eine dritte, die gelbe, hinzufügt. Sie sollen einfach sein, weil sie den Elementen zukommen, da das Feuer gelb, die Luft und das Wasser aber weiß seien. Auch die Erde sei eigentlich weiß, erhalte aber ihre Farbe durch Beimengung anderer Körper. Deshalb sei die Asche weiß, die durch Ausglühen der Erde, d. h. Verbrennung der die Färbung bewirkenden Feuchtigkeit entstehe. Die schwarze Farbe aber begleitet die Elemente, wenn sie ineinander übergehen, wie bei der Verbrennung. Schwarz erscheint dasjenige, was nicht gesehen wird, wenn man den umgebenden Raum sieht, ferner dasjenige, von dem kein Licht in das Auge kommt, von Körpern aber erscheinen die schwarz, von denen nur ein schwaches Licht zurückgeworfen wird, so das Meer im Sturme, wenn seine Oberfläche rauh wird oder die sonst durchsichtigen Wolken, wenn sie sehr dick werden. Die sämtlichen übrigen Farben entstehen durch Vermischung zweier Grundfarben, wobei das Verhältnis der Mengen, in der dieses geschieht, den Unterschied bedingt. Mischt sich Schwarz mit dem hellen Weiß des Feuers, so entsteht das Blutrot (*τὸ φοινικοῦν*), wie es die durch Rauch gesehene Sonne zeigt, ist dagegen das Weiß schwächer, so entsteht die Purpurfarbe (*τὸ ἁλουργὸν*) der Morgenröte, und in ähnlicher Weise werden die anderen Farben erhalten.

γ) Die Peripatetiker und Stoiker, Epikureer und Skeptiker.

Des Aristoteles Nachfolger als Haupt der peripatetischen Schule war der bereits mehrfach erwähnte Theophrastos aus Eresos auf Lesbos, der 285 v. Chr. in sehr hohem Alter starb und bereits ein reiferer Mann war, als er die Schule übernahm, die ihm Garten und Gebäude zu verdanken hatte. War er auch mit den philosophischen Ansichten seines Lehrers keineswegs immer einverstanden,

---

[1]) Goethe, Materialien zur Geschichte der Farbenlehre. Ausg. in 6 Bdn. Stuttgart 1863, Bd. VI, S. 321.

so gelang es ihm nicht, diese weiterzuführen, wohl aber hat er mit Sammlerfleiß und Beobachtungsgabe des Aristoteles naturwissenschaftliche Arbeiten fortgesetzt und namentlich in den beschreibenden Naturwissenschaften Achtungswertes geleistet. So wird es wohl auch seine Richtigkeit haben, wenn man auch ihm die Fortbildung der aristotelischen Farbenlehre, wie wir sie im vorigen Abschnitte kennen lernten, zuschreibt. Im übrigen ging Theophrastos kaum über seines Lehrers Ansichten hinaus, noch weniger aber tat dies sein Mitschüler Eudemos aus Rhodos, der die aristotelische Physik so getreu wiedergegeben hat, daß seine Schriften der im 6. Jahrhundert n. Chr. lebende Simplicius, der die Schriften des Stagiriten über das Himmelsgebäude, über die Physik und über die Seele kommentierte, geradezu zur Feststellung der richtigen Lesart gebrauchen konnte. Unter den späteren Peripatetikern wurde die Lehre des Meisters immer naturalistischer. Der als Musiker berühmte Aristoxenos aus Tarent, dessen Werk über die Ursachen der Harmonie J. de Meurs 1616 unter dem Titel: De elementis harmonicis in lateinischer Übersetzung herausgab, trat mit der Behauptung hervor, daß die Seele nicht anderes sei als die harmonische Mischung der körperlichen Bestandteile und Theophrastos' Nachfolger, Straton aus Lampsakos, der bis gegen 268 v. Chr. der Schule vorstand und um seiner Verdienste um dieses Teiles der Lehre willen den Beinamen des Physikers erhielt, führte diese Richtung in die Schule ein. Eigene Leistungen in dem gegenwärtig als Physik bezeichneten Teile der Naturwissenschaft sind freilich nicht auf die Nachwelt von ihm gekommen. Doch suchte er alles in der Welt auf physikalische Ursachen und Kräfte zurückzuführen; er ließ auch die aristotelische Vorstellung eines außerweltlichen Gottes fallen, die Gottheit ist ihm einzig die Natur, die Vernunft nicht ein von der animalischen Seele verschiedenes Prinzip, und so gab er folgerichtig jeden Gedanken an Unsterblichkeit auf. Nach Straton kam die peripatetische Schule immer mehr von ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit zurück. Insbesondere hat sie in der Geschichte der Physik nichts Erwähnenswertes mehr geleistet.

Das nämliche muß von den Stoikern, den Epikureern und vor allem von den Skeptikern behauptet werden. Die erstgenannte Schule wurde von Zenon aus Kittion in Zypern gegründet, der um 340 v. Chr. als dreißigjähriger Mann nach Athen kam, sein Gewerbe als Kaufmann aufgab und nach langjährigen Studien eine hauptsächlich von den Zy-

nikern sich ableitende Philosophie in der Στοὰ ποικίλη, der Säulenhalle, die Polygnotos ausgemalt hatte, lehrte. Diese Lehre wurde die der Philosophen aus der Stoa, kurz die der Stoiker genannt. Ihre Hauptausbildung erhielt die stoische Lehre durch Chrysippos aus Soloi in Cilicien (282 bis 209 v. Chr.), dem Schüler des Kleanthes aus Assos in Troas, der dem Zenon in der Leitung der Schule gefolgt war und ihrer Lehre, namentlich angeregt durch den Akademiker Arkesilaos, der der Zyniker gegenüber eine größere Selbständigkeit verlieh. Wie jene wollten sie die Glückseligkeit durch Unabhängigkeit von allen äußeren Dingen erreichen, ein Bestreben, welches in dem jetzt noch üblichen Wort „stoisch" nachklingt. Im Gegensatz zu den sogleich zu betrachtenden Skeptikern halten sie ein Wissen für möglich, denn eine Vorstellung ist wahr, welche mit ihrem Gegenstand übereinstimmt, daß dies aber der Fall ist, lehrt die Überzeugungskraft, mit welcher sie sich aufdrängt. Indem sie nun für ein Wirkliches halten, was wirkt und leidet, können sie nur die Körperwelt für wirklich halten, und so wird ihre Lehre zu einer materialistischen, welche die Gottheit und die Seele für ein πνεῦμα, einen Hauch oder Luft oder Feuer erklären, Tugend und Weisheit aber für Luftströmungen halten. Auch das Vorstellen und Denken sollen Körper sein, während den allgemeinen Begriffen keine Realität zukommt. Freilich hat der von ihnen angenommene Urstoff zwei Seiten, einmal ist er das allgemeine Substrat, aber zum andern ist er auch die allgemein wirkende Kraft, das Weltgesetz und die Weltvernunft. Das Urfeuer, das als Wärmestoff, als luftartige ätherische Substanz angesehen wird, ist der Urstoff der Welt und zugleich die Gottheit, er verwandelt sich in Luft, die Luft in Wasser, von dem ein Teil sich als Erde niederschlägt, ein zweiter Wasser bleibt, ein dritter aber sich wieder zu Luft und zu Feuer verdünnt. Diese Scheidung ist aber nur eine vorübergehende, allmählich nimmt die Gottheit alles wieder in sich auf, es kehrt alles in vollständiger Weltverbrennung zum Urfeuer zurück, um dann von neuem aus ihm hervorzugehen, kosmologische Ansichten, die freilich schon ziemlich früh von Anhängern der Stoa verworfen wurden.

Mit der Lehre der Stoiker hat die des Epikuros, der 342 v. Chr. als Sohn des in Athen eingewanderten Samiers Neokles geboren war, mancherlei Berührungspunkte. Auch sie hat einen materialistischen Charakter, auch sie hält die Seele für einen dunstartigen Stoff, welcher sich durch den Leib verbreitet. Darin freilich geht Epikuros und

seine Anhänger weiter, daß sie Geist und tierische Seele unterscheiden, von denen jener seinen Sitz in der Brust, diese den ihrigen im Bauch haben soll und daß somit nicht, wie die Stoiker annahmen, die Seele den Leib, sondern der Leib die Seele zusammenhalte. Im übrigen schlossen sich die Epikureer eng an die Atomistik des Demokritos an. So besteht denn auch die Seele aus Atomen, die sich mit dem Tode zerstreuen, aber auch die Körper sind aus solchen zusammengesetzt, die sich durch Größe, Schwere und Gestalt unterscheiden und sich in einem leeren Raume befinden. Sie heißen Atome, weil sie nicht geteilt werden können, sie sind unzerstörbar und unveränderlich und lassen keine Leere, ihre Gestalt ist rein ideell. Aber sie sind nur im physischen Sinne unteilbar, ihre mathematische Teilbarkeit wird dagegen angenommen[1]). Infolge ihrer Schwere sind die Atome in dauernder Bewegung, aber diese Bewegung kann um ein kleines von der senkrechten Linie abweichen. So treten Zusammenstöße der Atome ein, die zu Wirbelbewegungen führen und so die Weltbildung zur Folge haben. Solcher Welten sind unendlich viele vorhanden, welche durch leere Räume (*μετακόσμια*) getrennt werden. Eine Weiterbildung der Lehre Demokrits ist demnach die epikureeische keineswegs, hat die letztere doch auch durchaus nicht den Zweck, die wirklichen Ursachen der Welt und ihres Inhaltes kennen zu lernen, es liegt ihr vielmehr nur daran, zu zeigen, daß man das Weltganze auch ohne Annahme einer schaffenden Gottheit begreifen könne. Aber geschichtlich hat sie die Bedeutung, daß der Römer T. Lucretius Carus die Lehre in einem großen Lehrgedicht über die Natur der Dinge[2]) aufbewahrt und darin den Zweck verfolgt hat, die Menschheit vom Aberglauben zu befreien. Es wird später darauf zurückzukommen sein.

Stoiker und Epikureer hatten zwar den Geist der Materie geopfert und ihn wie diese für etwas Körperliches erklärt. Aber sie hatten doch noch keinen Zweifel an der Möglichkeit der Erkenntnis ausgesprochen; sie überhaupt zu leugnen, war die einzige noch zu ziehende Folgerung, und die Skeptiker, wie die Schule heißt, die sie bis zum Äußersten zogen, waren aus der neuen Akademie hervorgegangen. Der Gründer dieser Forschungsrichtung, Pyrrho aus Elis, der Alexander den Großen auf seinem Zuge begleitet hatte, ging frei-

[1]) Zeller, Geschichte der griechischen Philosophie, 3. Aufl., Bd. I, S. 778, Anm. 1.

[2]) De natura rerum. 6 Bücher.

lich noch lange nicht so weit wie der oben bereits erwähnte Arkesilaos aus Pythane in Äolien (316 bis 241 v. Chr.). Dieser letztere und namentlich der um 214 v. Chr. in Kyrene geborene Karkeades waren es, die den wissenschaftlichen Selbstmord begingen, indem sie lehrten, daß man überhaupt nichts wissen könne. Gäbe es doch, so war ihre Meinung keine Art des Vorstellens, welche nicht täusche, also zum Prüfstein der Wahrheit dienen könnte, sei doch ferner der Übergang vom Wahren zum Falschen ein so unmerklicher, daß man beide gar nicht streng auseinander halten kann, und endlich setze ja doch die Möglichkeit der Prüfung einer Wahrheit ein bestimmtes Wissen voraus, sollte dieses aber erlangt werden, so mußte ein anderes vorausgehen und so ins Unendliche, was doch ungereimt sei. So war die Möglichkeit zu positivem Wissen zu gelangen, zerstört und das Fortschreiten der griechischen Philosophie damit vernichtet. Aber es war die Fortführung der Lehren ihrer großen Vertreter, die zu diesem Verfall führen mußte. Es war der verhängnisvolle idealistische Zug, die vorgefaßte Meinung, mit der man auch an die physikalischen Probleme ging, und dieser eintretende Verfall war nicht zu vermeiden, sobald man den Boden der Empirie gänzlich verließ.

d) Eukleides und Archimedes.

Der Sitz der griechischen Wissenschaft war seit den Zeiten des Anaxagoras und Platon Athen geworden. In den dortigen Philosophenschulen studierte jeder, der Neigung und Beruf dazu fühlte, die Philosophie aber war Mittelpunkt und Endzweck aller Studien. Als aber nach Aristoteles' Tode die athenische Wissenschaft rasch zurückging, erhielten neben Athen auch anderwärts gegründete Schulen erhöhte Bedeutung, und namentlich war es die von Eukleides um 300 v. Chr. eröffnete, die der Anfang nicht nur einer neuen Richtung, sondern auch und dieses zum Teil wohl infolge der kräftigen Unterstützung durch die ägyptischen Könige aus dem Hause der Ptolemaier der Bildung eines neuen Mittelpunktes der antiken Wissenschaft wurde. Ob Eukleides aus Alexandrien stammte[1]) oder in Gela in Sizilien oder endlich, wie arabische Schriftsteller angeben, in Tyrus[2]) geboren

---

[1]) Poggendorf, Biographisch-literarisches Handwörterbuch. Leipzig 1863, S. 688.

[2]) Pauly, Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaften, Bd. III. Stuttgart 1844, S. 257.

war, steht nicht fest, auch über seine Lebensschicksale ist uns nichts überliefert. Er scheint in Athen studiert und sich dort die Anschauungen Platons angeeignet zu haben. Aber er bildete sie in selbständiger Weise aus. Hatte der Gründer der Akademie aus der Beobachtung übereinstimmender Eigenschaften die Idee, den Begriff der Art abstrahiert, so sah Eukleides vom Stoffe ab, und indem er die Form allein im Auge behielt, ergab sich für ihn eine so vollkommen mathematische Betrachtungsweise der Dinge, daß er der Schöpfer einer systematisch fortschreitenden Mathematik geworden ist. Ganz ohne Vorbilder war er freilich nicht, wenigstens berichtet uns der 412 v. Chr. in Byzanz geborene Philosoph Proklos, daß „Eukleides vieles von Eudoxos Herrührende zu einem Ganzen ordnete und vieles von Theaitetos (den Genossen Platons) Begonnene zu Ende führte, überdies das von den Vorgängern nur leichthin Bewiesene auf unwiderlegliche Beweise stützte"[1]). Jedenfalls hat er die Methode der Elementarmathematik für Jahrtausende festgelegt, und es ist noch gar nicht so lange her, daß sich die deutschen Lehrbücher von ihrer allerdings erschöpfenden Weitläufigkeit mehr und mehr freigemacht haben. Erst im Anfange des vorigen Jahrhunderts haben Gauß, Lobatschefsky u. a. die nicht euklidische Geometrie ausgebildet, die das Parallelenaxiom fallen läßt[2]). Wie Eukleides die Mathematik betrieben haben wollte, beweist die Antwort, die er dem Könige Ptolemaios gab, als ihn dieser nach einer leichteren Methode der Mathematik fragte. »Μὴ εἶναι βασιλικὴν ἀτραπὸν πρὸς γεωμετρίαν«, daß es keinen königlichen Weg zur Geometrie gebe, soll er nach Proklos[3]) geantwortet haben. So nimmt er in der Geschichte der elementaren Mathematik eine ähnliche Stellung ein, wie sie Aristoteles in der Physik und Mechanik zuzusprechen ist, aber des Alexandriners Autorität war von vornherein viel allgemeiner anerkannt, hat sich auch viel länger behauptet, als die des Stagiriten. Das lag freilich nicht an einer diesen überragenden geistigen Kraft, es lag im

---

[1]) Proclos (ed. Friedlein), S. 68; vgl. Cantor, Vorlesungen über die Geschichte der Mathematik I. Leipzig 1884, S. 223 und Karagiannides, Die Nichteuklidische Geometrie. Berlin 1893, S. 3.

[2]) Vgl. Ostwalds Klassiker Nr. 130, Leipzig 1902. Pangeometrie von N. J. Lobatschefsky, herausg. von H. Liebmann, Anm. 1, S. 79. Auch Karagiannides, Die Nichteuklidische Geometrie. Berlin 1893, S. 6 ff.

[3]) Proklus, Lib. II, Ad Euclidem, p. 20.

Charakter der Wissenschaft, die Eukleides zum Gegenstand seiner Forschung machte, einer Wissenschaft, welche sich nicht auf Experimente oder Beobachtungen zu stützen brauchte, sondern, von wenigen Grundsätzen ausgehend, eine logisch konsequentes Lehrgebäude zu errichten imstande war. Aus diesem Sachverhalt würde es sich auch erklären, daß die Schrift, die unter dem Titel: De ponderoso et levi dem Eukleides zugeschrieben wurde, die Grundlagen der peripatetischen Dynamik auseinandersetzt[1]).

Obwohl sich nun Eukleides auch mit physikalischen Disziplinen beschäftigt hat, so ist über seine dazu gehörigen Arbeiten doch dasselbe Urteil zu fällen. Handelte es sich doch um die musikalische Akustik und solche Teile der Optik, die der geometrischen Behandlung leicht zugänglich sind. Es steht allerdings nicht fest, ob Eukleides der Verfasser der ihm zugeschriebenen Schriften: *Εἰσαγωγὴ ἁρμονική*, *Κατατομὴ κανόνος* und *Ὀπτικὰ καὶ Κατοπτρικά* ist, obwohl Proklos für ihre Echtheit eintritt. Nach Wilde[2]) sind sie, wie sie uns vorliegen, von späteren Kommentatoren mit Zusätzen versehen, hier und da auch wohl entstellte Schriften des Alexandriners. Ihrem Hauptinhalte nach werden sie, wie dies auch Helmholtz annimmt, dem Eukleides zuzuschreiben sein. Aus den genannten akustischen Schriften folgt, daß er zuerst eine aus zwei Oktaven bestehende Tonleiter einführte, die von A bis a′, reichte, aus vier Tetrachorden, dem tiefsten, mittleren, getrennten und überschüssigen unter Zusatz des tiefsten Tones A bestand, neben dem getrennten Tetrachord h—c′—d′—e′, aber auch noch das überschüssige a—b—c′—d′ benutzte, wohurch neben h der Ton b eingeführt wurde. Diese Skala wurde dann transponiert, und man erhielt so eine weitere Reihe von Tonleitern[3]). Das Wesen der Konsonanz und Dissonanz aber definierte Eukleides in einer Weise, die der neuerdings von Helmholtz gegebenen recht gut entspricht, wenn er sagt: „Konsonanz ist die Mischung zweier Töne, eines höheren und eines tieferen. Dissonanz aber ist im Gegenteil die Unfähigkeit zweier Töne, sich zu mischen, daher sie für das Gehör rauh werden.“[4])

---

[1]) Duhem, Les origines de la Statique. Paris 1905, S. 78.

[2]) Wilde, Geschichte der Optik. Berlin 1838, S. 11.

[3]) Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen, 5. Ausgabe, Braunschweig 1896, S. 442.

[4]) Helmholtz a. a. O., S. 370.

In der Optik und Katoptrik hatte Eukleides die von Platon gemachte Voraussetzung übernommen, daß die Lichtstrahlen aus dem Auge zum Gegenstand, nicht wie wir es jetzt auffassen, vom Gegenstand zum Auge gelangten. Doch hat die fortschreitende Wissenschaft deshalb seine Folgerungen nur in ganz einzelnen Fällen umstoßen müssen. Denn da Eukleides die geradlinige Fortpflanzung dieser Strahlen annimmt, so war es gleichgültig, welchen Sinn man der Richtung ihrer Fortpflanzung beilegte, und da er nur die Zentralperspektive betreffende Folgerungen zieht, so war die Annahme der Bewegung der Strahlen in gerader Linie ausreichend. Er kam so zu der Folgerung, daß die von den Gesichtsstrahlen eingeschlossene Figur ein Kegel sei, der seinen Scheitel im Auge, seine Grundfläche auf der Grenze der sichtbaren Gegenstände habe. Indem er aber nur einzelne Strahlen vom Auge ausgehen ließ, konnte er zu einer deutlichen Vorstellung von der Verbreitung des Lichtes nicht kommen. Die Katoptrik wird nur auf der physikalischen Grundlage des Reflexionsgesetzes aufgebaut, allerdings unter Zufügung des Grundsatzes, daß jeder sichtbare Gegenstand in der ihn mit dem Auge verbindenden geraden Linie gesehen wird. So ergibt sich die Lage, Größe und Beschaffenheit der Bilder ebener und kugelförmiger Spiegel im allgemeinen in der nämlichen Weise, wie wir sie auch jetzt noch zu konstruieren pflegen, wenn man auch die Beweise nicht immer als einwandfrei, seine Folgerungen, so namentlich die, daß das von einem Spiegel entworfene Bild eines Lichtpunktes stets in dem Lote liege, das von ihm auf die spiegelnde Fläche gefällt wird, anerkennen kann. Doch kommt man zu dem Schlusse, daß die geometrischen Folgerungen durch die Beobachtung geprüft sein mußten, abgesehen allerdings von unrichtigen oder unmöglichen Behauptungen, wie die angeführte oder die andere, daß ein in den Mittelpunkt eines Hohlspiegels versetztes Auge nur sich selbst sehe, obwohl auch dieses Theorem aufrecht zu halten wäre, wenn man als seine Meinung die hinstellen dürfte, daß in diesem Falle das Bild des Auges in das Auge selbst fällt. Allerdings kann das Auge dann nicht gesehen werden[1]). Daß die Kenntnis der Wirkungsweise der Kugelspiegel nicht so weit ging, daß offenbare Unmöglichkeiten als solche erkannt worden wären, beweist die bekannte Erzählung von den Hohlspiegeln des Archimedes, die bei der Belagerung von Syrakus durch die

---

[1]) Wie Wilde, Geschichte der Optik. Berlin 1838, S. 28 mit Recht hervorhebt.

Römer im Jahre 212 v. Chr. deren Schiffe auf große Entfernungen in Brand gesetzt haben sollten. Bei der Belagerung dieser seiner Vaterstadt fand der große Geometer seinen Tod. Schildern wir zunächst, ehe wir die Glaubwürdigkeit der Berichte über seine letzten Taten prüfen, das Lebenswerk dieses außerordentlichen Mannes.

Von den Verhältnissen, unter denen er lebte, ist uns nur wenig bekannt. Soweit wir unterrichtet sind, war er 287 v. Chr. in Syrakus geboren; ob er ein Verwandter des Königs Hiero II. war oder aus niederem Stande hervorging, ist ungewiß. Beides wird berichtet, doch wissen wir bestimmt, daß er zu dem Könige freundschaftliche Beziehungen hatte. Nach Diodoros[1]) hatte er Ägypten besucht, und es ist somit nicht unmöglich, daß Eukleides Einfluß auf seine Studien gehabt hat. Duhem[2]) nennt den Alexandriner seinen Lehrer. Doch ist dies eben nur eine Annahme, und so wissen wir auch nicht, ob die Nachricht, daß er Spanien besucht habe, Wahres berichtet. Jedenfalls ist der Grundzug seiner Forschung nicht die philosophische Richtung der Athener, wie Eukleides ist er vielmehr in erster Linie Mathematiker. Aber er übertrifft diesen weit an Originalität. In dieser Hinsicht tritt er vielmehr Aristoteles an die Seite, aber auch diesen überragt er in seiner Wissenschaft, in der er bereits Methoden anwendete, die die neueren der Infinitesimalrechnung vorbereiteten. Und ein anderer schwerwiegender Unterschied zwischen beiden Männern drängt sich sofort auf, wenn wir die ganz verschiedenen Wege ins Auge fassen, die beide zur Aufstellung der Hebelgesetze führten. Der Philosoph wendet die Sätze der Bewegung, die er von seiner universellen Anschauung der himmlischen und irdischen Dinge abgezogen hat, auf diesen besonderen Fall an und wird so der Schöpfer der Mechanik, der Mathematiker dagegen schreitet von einigen Sätzen, die ihn die Betrachtung der irdischen Körper lehrte, weiter fort und legt, indem er von den schwer zu beobachtenden, in Bewegung befindlichen Körpern absieht, dagegen

---

[1]) Diodoros V, S. 37. Diodoros Siculus (*ὁ Σικελιώτης*) schrieb seine von ihm *Βιβλιοθήκη* genannte Geschichte, die freilich im wesentlichen Kompilation ist, zu Zeiten Cäsars und Augustus'. Von den 40 Büchern seines Werkes sind uns nur die ersten fünf, außerdem noch das 11. bis 20. Buch und überdies nur Bruchstücke erhalten.

[2]) Duhem, Les origines de la Statique. Paris 1905, S. 10. Vgl. auch O. Spieß, Archimed von Syrakus. Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften 1904, 3. Jahrg., S. 224.

im Gleichgewicht befindliche, die bei geringster Abänderung in Bewegung geraten, seiner Untersuchung unterwirft, so den Grund zur Statik. Seine Methode hatte den Vorteil, auf so sicherer Grundlage aufgebaut zu sein, daß ihre Ergebnisse sämtlich in den gegenwärtigen Lehrbüchern der Physik ihren Platz behauptet haben, die des Stagiriten aber waren so verschwommen, daß sie wohl dem Mittelalter genügten, aber da sie, um sich zu behaupten, in ganz andere Formen gegossen werden mußten, nur als Ahnungen, nicht als Erkenntnisse angesehen werden können.

Die auf uns gekommenen Werke des Archimedes sind teils mathematischen, teils physikalischen Inhaltes. Sie wurden erst nach der Einnahme Konstantinopels durch die Türken nach Italien gebracht und zuerst im Druck 1554 in Basel in lateinischer Übersetzung herausgegeben[1]). Für uns kommen nur in Betracht die zwei Bücher vom Gleichgewichte der Ebenen und die Bücher von den schwimmenden Körpern. Enthalten diese den theoretischen Teil seiner Forschungen, so fehlt es auch keineswegs an sogleich näher zu betrachtenden Berichten über deren Anwendungen, welche Berichte freilich aus späterer Zeit stammen und um so fabelhafter werden, je weiter die Lebzeit des Berichterstatters von der des Syrakusaners abliegt. Da sie aber zum Teil mit hübschen Anekdoten verbunden vorgetragen werden, so sind diese Berichte über seine Leistungen viel bekannter geworden als der Inhalt seiner Schriften. Diese waren uns bis vor kurzem im Urtext freilich nicht erhalten, wohl aber in arabischen Schriften und in der lateinischen Übersetzung, die 1269 Wilhelm v. Moerbek nach einem griechischen Texte herstellte, der wahrscheinlich zur Zeit der päpstlichen Gefangenschaft in Avignon verloren gegangen ist. Vor kurzem aber hat Heiberg in Konstantinopel unter einer Schrift des 13. Jahrhunderts eine aus dem 10. stammende griechische Handschrift verschiedener Werke des Archimedes entdeckt, darunter die „Ochoumena" und ein großes Stück einer bisher nur aus dem Kommentar des Theodosios bekannten, an Eratosthenes gerichteten Schrift, die den Titel trägt: Des Archimedes Methodenlehre von den mechanischen Lehrsätzen[2]). Gegen die Mitte des 16. Jahrhunderts gab dann Tar-

---

[1]) Vgl. Heller, Geschichte der Physik. Stuttgart 1882. I. Bd. S. 94, wo auch die meisten weiteren Ausgaben aufgeführt werden.

[2]) Heiberg und Zeuthen, Eine neue Schrift des Archimedes, Bibliotheca mathematica 3. Folge, 7. Bd., 1907, S. 321.

taglia die Schrift über die schwimmenden Körper mit den Varianten aus seiner originalen Handschrift heraus[1]) und ist diese nach Heibergs, des Herausgebers der gesamten Werke des Archimedes, Zeugnis die einzige brauchbare[2]). Doch weichen von ihr die arabischen Übersetzungen vielfach ab. Nach der von Nizze 1824 herausgegebenen deutschen Übersetzung sind es die folgenden Sätze, auf welche Archimedes seine mechanischen Untersuchungen aufbaute[3]).

1. „Gleich schwere Größen in gleichen Abständen (vom Unterstützungspunkte) wirkend, sind im Gleichgewichte."

2. „Gleich schwere Größen in ungleichen Abständen wirkend, sind nicht im Gleichgewichte, sondern die in der längeren Entfernung wirkende sinkt."

3. „Wenn einer schweren Größe, die mit einer anderen in gewissen Abständen im Gleichgewichte ist, etwas zugefügt wird, so bleiben sie nicht mehr im Gleichgewichte, sondern diejenige sinkt, der etwas zugelegt worden ist."

4. „Gleicherweise, wenn von der einen dieser schweren Größen etwas weggenommen wird, so bleiben sie nicht mehr im Gleichgewichte, sondern diejenige sinkt, von welcher nichts weggenommen ist."

5. „Wenn gleiche und ähnliche Figuren aufeinandergepaßt sind, so treffen auch die Schwerpunkte aufeinander."

6. „Die Schwerpunkte ungleicher, jedoch ähnlicher ebener Figuren liegen ähnlich, d. h. die von ihnen nach den Scheiteln der gleichen Winkel gezogenen Linien machen mit den gleichliegenden Seiten gleiche Winkel."

7. „Wenn Größen in gewissen Abständen im Gleichgewichte sind, so sind ihnen gleiche in denselben Abständen auch im Gleichgewichte."

8. „Der Schwerpunkt einer jeden Figur, deren Umfang nach einerlei Gegend hohl ist, muß innerhalb der Figur liegen."

---

[1]) W. Schmidt, Zur Textgeschichte der „Ochoumena" des Archimedes. Bibliotheca mathematica, 3. Folge, 3. Bd., 1902, S. 176 ff.

[2]) L. Heiberg, Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik V, S. 1. Vgl. E. Wiedemann, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften VII. Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen 1906, Bd. 38, S. 152.

[3]) Archimedes von Syrakus vorhandene Werke. Aus dem Griechischen übersetzt und mit Erläuterungen und kritischen Anmerkungen begleitet von Ernst Nizze. Stralsund 1824. Vgl. auch Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 25.

Die große, ungemein weitläufige Gründlichkeit erinnert so sehr an die Darstellungsweise des Eukleides, daß man in der Tat geneigt sein möchte, den Archimedes mit Duhem für dessen Schüler anzusehen. Nach Zeuthen[1]) ist es wohl möglich, daß Archimedes den Begriff des Schwerpunktes und die sich daraus ergebenden Methoden zur Körperberechnung bereits vorfand, beweisen läßt es sich freilich nicht. Als ein Neues aber tritt bei Archimedes das Experiment hinzu, mit dessen Hilfe er die Richtigkeit der vorstehenden Sätze geprüft haben dürfte. Bei diesen teils von ihm teils von anderen angestellten Versuchen ergab sich eine Reihe weiterer Sätze. Es sind die folgenden:

1. „Größen, die in gleichen Abständen sich im Gleichgewichte befinden, sind gleich schwer. Wären sie es nicht, so würden sie nach Wegnahme des Gewichtsüberschusses sich im Gleichgewichte befinden müssen, was nicht möglich ist."

2. „Ungleich schwere Größen sind bei gleichen Abständen nicht im Gleichgewichte, sondern die schwerere wird sinken."

3. „Wenn ungleich schwere Größen in ungleichen Abständen im Gleichgewichte sind, so befindet sich die schwerere im kleineren Abstande."

4. „Wenn zwei gleich schwere Größen nicht einerlei Schwerpunkt haben, so liegt der Mittelpunkt der Schwere einer aus diesen beiden zusammengesetzten Größe in der Mitte derjenigen geraden Linie, welche die Schwerpunkte beider Größen verbindet."

5. „Wenn die Schwerpunkte dreier Größen in einer Geraden liegen, auch die Größen selbst gleiches Gewicht haben, und wenn die Zwischenweiten der Schwerpunkte gleich sind, so wird der Schwerpunkt, der aus allen dreien zusammengesetzten Größe derjenige Punkt sein, der auch der Schwerpunkt der mittleren Größe ist."

Endlich gibt er dann auch in quantitativer Bestimmung das Hebelgesetz mit den Worten: „Kommensurable Größen sind im Gleichgewichte, wenn sie ihren Entfernungen umgekehrt proportional sind", und wenn er es auch für überflüssig findet, nach der Weise des Eukleides einen Beweis zuzufügen, so beweisen ihm zugeschriebene Maschinen und Maschinenteile, daß er den Satz auch durch den Versuch geprüft hat.

---

[1]) Heiberg nnd Zeuthen, Eine neue Schrift des Archimedes. Bibliotheca mathematica, 3. Folge, Bd. 7, 1907, S. 346.

Fast noch wichtiger sind seine Arbeiten über das Gleichgewicht von Körpern, welche in eine Flüssigkeit tauchen, da uns nicht überliefert ist, daß vor ihm sich jemand mit dieser Sache befaßt hat. Auch auf diesem Gebiet ging er wohl von Erfahrungen aus, wenn er auch nachher den mathematischen Beweis seiner Sätze zu erbringen suchte. Es sind die folgenden[1]):

1. „Feste Körper, die bei gleichem Rauminhalte einerlei Gewicht mit einer Flüssigkeit haben, sinken in diese eingetaucht so weit, daß nichts von ihnen aus der Oberfläche der Flüssigkeit hervorragt; tiefer aber sinken sie nicht."

2. „Jeder feste Körper, der leichter als eine Flüssigkeit ist und in diese eingetaucht wird, sinkt so tief ein, daß die Masse der Flüssigkeit, welche so groß ist als der eingesunkene Teil, ebensoviel wiegt wie der ganze Körper."

3. „Wenn Körper, die leichter sind als eine Flüssigkeit, in diese eingetaucht werden, so erheben sie sich wieder mit einer so großen Kraft, wie sie dem Gewichtsunterschied des Körpers selbst und einer Flüssigkeitsmenge von der Größe des Körpers entspricht."

4. „Feste Körper, welche schwerer sind als eine Flüssigkeit und in diese eingetaucht werden, sinken so weit herab, als sie können und werden in der Flüssigkeit um so leichter, als das Gewicht einer Flüssigkeitsmenge von der Größe des eingetauchten Körpers beträgt."

5. „Die Oberfläche einer jeden zusammenhängenden Flüssigkeit im Zustande der Ruhe ist kugelförmig, und der Mittelpunkt ihrer Kugel stimmt mit dem Mittelpunkt der Erde."

Auch auf die Gleichgewichtslage schwimmender Körper hat Archimedes seine Untersuchungen ausgedehnt. Er spricht aus, daß jeder in eine Flüssigkeit getauchte Körper, wenn er aufwärts strebt, sich so bewegt, daß der Schwerpunkt in einer senkrechten Linie nach oben steigt, daß ein Körper von der Form eines Kugelabschnittes, wenn er an der Oberfläche schwimmt und so eingetaucht wird, daß seine kreisförmige Grundfläche vom Wasser unberührt bleibt, mit senkrechter Achse schwimmen, aus dieser Lage gebracht, aber immer wieder in sie zurückkehren wird. Die arabischen Übersetzungen geben dem Inhalte

[1]) Archimedes, Von den schwimmenden Körpern (1. Buch). L. Heiberg, Archimedis opera omnia. Vol. II, S. 356. Nizze a. a. O. S. 224.

nach die Sätze über die schwimmenden Körper wieder, wenn auch die Ordnung, in der dies geschieht, hier und da eine andere ist[1]).

Bei der Wichtigkeit, welche dem nach Archimedes genannten Prinzipe zukommt, hat man annehmen zu dürfen geglaubt, daß er daraus auch die Folgerungen gezogen habe, die man jetzt darauf gründet. Das ist nun allerdings nicht der Fall, wie es denn auch allen Gesetzen geschichtlicher Entwicklung widersprechen würde. So hat er namentlich noch nicht den Begriff des spezifischen Gewichtes daraus mit aller Klarheit entwickelt. Wenn auch eine von H. Zotenberg[2]) mitgeteilte Stelle, die uns freilich nur in arabischer Übersetzung erhalten ist, nahe dahin zu kommen scheint. Sie lautet[3]): „Es gibt feste und flüssige Körper, von denen die einen schwerer als die andern sind. Man sagt, daß ein Körper schwerer als ein anderer ist, oder daß eine Flüssigkeit schwerer als eine andere ist, oder daß ein Körper schwerer als eine Flüssigkeit ist, falls, wenn man von jeder der beiden ein gleiches Volumen nimmt und man sie wiegt, man findet, daß der eine schwerer als der andere ist. Sind ihre Gewichte gleich, so sagt man nicht, daß der eine schwerer als der andere ist." Ist hier auch der Begriff des spezifischen Gewichtes vorbereitet, so ist er keineswegs bereits klar ausgesprochen, und so findet sich der Ausdruck „spezifisches Gewicht (aequegravia in specie corpora)" zuerst in einem dem Archimedes zugeschriebenen Traktat »De Ponderibus«, das nach Thurots[4]) Ansicht erst im 13. Jahrhundert verfaßt ist, wenn auch seine theoretischen Teile vielleicht auf den Syrakusaner zurückgehen. Die Notiz E. v. Lippmanns[5]) in der Chemiker-Zeitung von 1907 bringt somit keineswegs etwas neues, da er selbst zugesteht, daß sich bei Archimedes das Wort „spezifisches Gewicht" noch nicht findet. Er gebraucht dafür aber

---

[1]) E. Wiedemann, Beiträge usw. VII. Erlangen 1906, S. 154.

[2]) H. Zotenberg, Journal asiatique 7. Ser., Bd. 13, 1879, S. 509.

[3]) E. Wiedemann, Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften, Bd. XII, S. 98. Vgl. auch E. Wiedemann, Beiträge usw. VII, S. 153.

[4]) Thurot, Recherches historiques sur le Principe d'Archiméde. Revue archéologique 1869; vgl. E. Wiedemann, Unterrichtsblätter usw. 1906, Bd. XII, S. 125.

[5]) E. v. Lippmann, Die spezifische Gewichtsbestimmung von Archimedes. Chemiker-Zeitung 1907, Bd. 31, S. 616. Nach Hultsch, Scriptores Romani, Bd. II, § 118, S. 26 ist übrigens der dort erwähnte Verfasser des Gedichtes: De Ponderibus et mensuris unbekannt und lebte wahrscheinlich am Ausgang des 4. Jahrhunderts n. Chr.

auch kein anderes Wort, was doch wohl der Fall gewesen wäre, wenn er den Begriff bereits in voller Klarheit gefaßt hätte. So verfügen auch die späteren römischen Schriftsteller noch nicht über diesen Begriff, wie ausführlich dargetan werden wird. Ebensowenig hat aber Archimedes, wie Poggendorff[1]) behauptet, das Volumenaräometer angegeben, noch ist es ihm gelungen, den Boden- und Seitendruck einer Flüssigkeit zu bestimmen, wenn beide auch nach Lagranges Meinung sich leicht aus seinen Ansichten ergeben. Vielmehr hat Duhem[2]) nachgewiesen, daß der von Archimedes seinen hydrostatischen Untersuchungen zugrunde gelegte Satz nur gilt, wenn die Flüssigkeit nicht von festen Wänden eingeschlossen ist und der Durchschnittspunkt der sie begrenzenden einen Kegelstumpf bildenden Linien in unendlicher Entfernung liegt, während die von dem Syrakusaner seinem Satz gegebene allgemeine Fassung nicht mit den jetzt als richtig erkannten Gesetzen der Hydrostatik in Einklang ist.

Wir werden in der Folge nach den Urhebern dieser Begriffe und Apparate zu suchen haben. Daß sie Archimedes nicht auch neben so vielen anderen fand, tut seiner Größe wahrlich keinen Eintrag, und die Bewunderung, welche seine und die Folgezeit ihm entgegenbrachte, war eine durchaus verdiente, wenn sie auch hier und da eigentümliche Blüten zeitigte. Haben uns doch Polybios, Plutarchos, Livius und Vitruvius die Beschreibung einer Reihe von Maschinen, die ihm zugeschrieben wurden, aufbewahrt, deren Wirkung damals unbedingt unmöglich war, ja vielfach auch jetzt noch ist. Das gilt aber auch von andern Entwürfen, wie dem hydraulischen Telegraphen des Äneas Tacticus (4. Jahrh. v. Chr.) den Polybios beschreibt[3]). „Er (Archimedes) hatte," sagt Plutarchos von ihm[4]), „eine so edle und erhabene Gesinnung und besaß dabei einen solchen Reichtum theoretischer Kenntnisse, daß er sich nicht entschließen konnte, über jene Dinge, die ihm den Ruhm einer göttlichen, nicht bloß menschlichen Einsicht verschafft hatten, eine eigene Schrift zu hinterlassen; vielmehr betrachtete er die Beschäftigung mit mechanischen Ar-

---

[1]) Poggendorff, Geschichte der Physik, Leipzig 1879, S. 14.

[2]) P. Duhem, Kannte Archimedes das hydrostatische Paradoxon? Bibliotheca mathematica 1900, 3. Folge, Bd. I, S. 15.

[3]) Vgl. Karras, Geschichte der Telegraphie, Bd. I, Braunschweig 1909, S. 16.

[4]) Plutarchs vergleichende Lebensbeschreibungen. Übersetzt von Kaltwasser. 3. Teil. Magdeburg 1801. Marcellus, Kap. 17, S. 259.

beiten und überhaupt jede Kunst, die sich mit notwendigen Bedürfnissen abgibt, als ein unedles und niedriges Handwerk, und wendete daher seinen ganzen Eifer nur auf solche Kenntnisse, die das Gute und Schöne unvermischt mit dem Notwendigen enthalten." Erst auf Bitten des Königs Hiero habe er solche Arbeiten ausgeführt[1]). Man schreibt ihm die Erfindung des Flaschenzuges, der Schraube ohne Ende und der nach ihm genannten zum Pumpen des Wassers dienenden Schraube, der Wasserschnecke, zu. Auch eine Anzahl von Hebe-, Stoß- und Schleudermaschinen, wie sie das Altertum in der Kriegsführung benutzte, soll er erfunden und bei der Belagerung von Syrakus durch Marcellus Cladius mit größtem Erfolge gehandhabt haben, bis ihn bei der Eroberung der Stadt im Jahre 212 v. Chr. das Schwert eines römischen Soldaten zu Boden streckte. Dabei sind sicher mancherlei Übertreibungen mit untergelaufen, so die Schilderung der Maschinen, die wie mit Klauen bewaffnete Arme sich über die Mauern der belagerten Stadt herausstreckten, die Schiffe der Römer faßten und umwarfen oder die der Brennspiegel, mit deren Hilfe der große Geometer auf große Entfernungen hin die feindlichen Schiffe in Brand setzte und dergleichen mehr. Es spricht durchaus nicht für die Richtigkeit dieser Erzählungen, daß sie erst spät, erst im 6. Jahrhundert auftreten. Hat er nun auch sicher nicht alles verwirklicht, was ihm die Zeitgenossen zutrauten, so dürfen wir aus ihren Erzählungen doch vielleicht einen Schluß auf den Umfang seiner Kenntnisse ziehen. Er mag die Wirkungsweise der Brennspiegel gekannt haben, er wußte vielleicht, daß ein in einem Gefäß mit Wasser liegender Gegenstand gehoben erscheint, und welche Kraftwirkungen er mit dem Hebel erreichen zu können meinte, beweist der bekannte ihm in den Mund gelegte Ausdruck — ob mit Recht oder Unrecht, wissen wir nicht — *Δός μοι ποῦ στῶ καὶ τὰν γᾶν κινάσω*, gib mir einen festen Punkt außer ihr, und ich werde die Erde aus ihren Angeln heben. Den ersten Gedanken zu seinen Sätzen über die in Flüssigkeit getauchten Körper wiederum soll er gelegentlich der Lösung der Aufgabe, zu untersuchen, ob ein dem König Hiero von einem Goldschmied gelieferter Kranz, für den er eine gewogene Menge Goldes erhalten hatte, wirklich aus reinem Gold bestand, oder ob ihm gegen Entnahme von Gold Silber zugesetzt worden war, gefaßt haben. In eine zu volle Badewanne steigend, beobachtete er, daß um so mehr Wasser ausfloß, je tiefer er

---

[1]) Ebenda Kap. 14, S. 254.

seinen Körper hineinsenkte. Das führte ihn auf die Möglichkeit, wie er die ihm gestellte Aufgabe lösen könne und er soll mit dem Rufe „εὕρηκα“ (ich habe es gefunden) sogleich nach Hause geeilt sein, ein Ausruf, der bis in die neueste Zeit sprichwörtlich geblieben ist. Die weitere Erzählung des Vorganges, wie sie uns Vitruv aufbewahrt hat, sei in Übersetzung mitgeteilt[1]), woraus hervorgeht, daß auch dem Baumeister des Kaisers Augustus, der um den Beginn unserer Zeitrechnung lebte, der Begriff des spezifischen Gewichtes noch fehlte.

„Von jener Entdeckung ausgehend, soll er (Archimedes) zwei Klumpen von demselben Gewichte, wie es der Kranz hatte, den einen von Gold, den anderen von Silber, zusammengestellt haben. Nachdem er dies getan, füllte er ein weites Gefäß bis an den obersten Rand mit Wasser und senkte dann den Silberklumpen hinein, worauf das Wasser in gleichem Maße ausfloß, als der Klumpen allmählich in das Gefäß getaucht wurde. Nachdem dann der Klumpen wieder herausgenommen war, füllte er das Wasser um so viel, als es weniger geworden war, das neu zugegebene mit einem Sextar messend, wieder auf, so daß es in gleicher Weise wie früher mit dem Rande in gleiche Höhe kam. So fand er daraus, welches Gewicht Silber einem bestimmten Volumen Wasser entspräche. Nachdem er dies erforscht hatte, senkte er den Goldklumpen in ähnlicher Weise in das volle Gefäß und als er auch diesen herausgenommen, fand er, nachdem er das fehlende Wasser auf dieselbe Weise vermittelst eines Hohlmaßes nachgefüllt hatte, daß nun von dem Wasser nicht soviel abgeflossen war, sondern um soviel weniger, als ein Goldklumpen von gewissem Gewichte ein minder großes Volumen hat, als ein Silberklumpen von demselben Gewichte. Nachdem er hierauf das Gefäß abermals gefüllt und den Kranz selbst in das Wasser gesenkt hatte, fand er, daß mehr Wasser bei dem Kranze als bei dem gleichwiegenden Goldklumpen abfloß und entzifferte so aus dem, was mehr bei dem Kranze als bei dem Goldklumpen abfloß, die Beimischung des Silbers zum Golde und machte die Unterschlagung des Unternehmers offenbar.“ Wir werden später aus dieser Schilderung die für uns wichtigen Schlüsse zu ziehen haben.

Seine Anschauung vom Sonnensystem scheint Archimedes der heliozentrischen des Aristarchos nachgebildet oder vielmehr

---

[1]) M. Vitruvius Pollio, Zehn Bücher über die Baukunst. Übersetzt und durch Anmerkungen und Risse erläutert von Fr. Reber. Stuttgart 1895. Buch. IX, Kap. 9.

dessen Ansicht angenommen zu haben. Aristarchos war um 270 v. Chr. auf Samos geboren und soweit wir wissen, ein Schüler von Theophrasts Nachfolger Straton. Von seinen Schriften ist nur die erhalten, deren Inhalt der Versuch, die Entfernungen der Sonne und des Mondes zu bestimmen, bildete. Doch wissen wir aus der dem Plutarchos zugeschriebenen Abhandlung: De facie in orbe Lunae, daß Aristarchos vorausgesetzt habe, der Himmel stehe fest, die Erde dagegen wälze sich in einem schiefen Kreise fort, indem sie sich zugleich um ihre Achse drehe. Dies nun bestätigt Archimedes in seiner Schrift über die Sandeszahl (ψαμμίτης). Aristarchos, heißt es da[1]), „nimmt nämlich an, die Fixsterne samt der Sonne wären unbeweglich, die Erde aber werde in einer Kreislinie um die Sonne, welche inmitten der Bahn stehe, herumgeführt". Indem er dann als Umfang der Erde, welche er für größer als den Mond hält, das Zehnfache des damals allgemein angenommenen Wertes von 300 000 Stadien annimmt und den Durchmesser der Sonne ebenfalls größer, als man damals glaubte, und zwar dreißigmal so groß als den des Mondes setzt, findet er, daß die Entfernung der Sonne von der Erde nicht größer sein kann als 10 000 Erdhalbmesser; den Durchmesser der Fixsternsphäre aber, die eine solche Größe hat, daß der Kreis, in dem sich die Erde bewegt, sich zu ihm verhalten soll, wie der Mittelpunkt der Kugel, also eine unendlich kleine Fläche, zu ihrer Oberfläche, nicht größer als 10 000 Millionen Stadien. Die Schätzung der Entfernung der Sonne beträgt freilich nur $^2/_5$ des wahren Wertes, wurde aber noch von Keppler als zu groß erachtet. Diese Verhältnisse soll dann Archimedes in einem Himmelsglobus dargestellt haben, von dem die Alten viel zu erzählen wußten. Es handelte sich dabei jedoch nach Hultsch[2]) nur um einen Mechanismus zur Veranschaulichung der Stellung der Planeten, der durch eine hydraulische Vorrichtung bewegt wurde.

e) Die Rhodier und die älteren Alexandriner.

Des Eukleides Schule hatte den Mittelpunkt der Wissenschaften nach Alexandrien verlegt, wo die Beschäftigung damit unter

---

[1]) Aristarchos, Über die Größen und Entfernungen der Sonne und des Mondes. Übersetzt und erläutert von A. Nock. Freiburg 1854. Vgl. Heller, Geschichte der Physik. Stuttgart 1882, I, S. 100.

[2]) Schlömilch, Zeitschrift für Mathematik und Physik, Bd. 22, H.—J. A., S. 106 ff.

dem wirksamen Schutz, den ihr Ptolemaios Lagi, der Feldherr des großen Alexander, dem nach des Königs Tode Ägypten zugefallen war, und seine Nachfolger gewährten, einen gewaltigen Aufschwung nahm. Freilich behauptete auch Athen noch seine alte Bedeutung, aber dort zehrte man vom Ruhme früherer Zeiten, ohne neue Fortschritte aufweisen zu können, und so wandte sich die Mehrzahl derer, die sich der Beschäftigung mit den Wissenschaften hingeben wollten, der neuen Pflegstätte zu. Blieben nun auch nicht alle, die sich in Alexandrien ihre Bildung geholt hatten, in Ägypten, so haben doch gerade diejenigen Forscher, welchen wichtige Fortschritte auf physikalischem Gebiete zu danken sind, die Hauptstadt der Ptolemaier zum Wohnort erkoren, während zwei andere Gelehrte in dem nicht allzu fernen Rhodos ihren der Astronomie gewidmeten Studien oblagen.

Der Zeitraum, den wir als Lebens- und Wirkenszeit der ältern Alexandriner festzusetzen haben, reicht von Eukleides, also etwa 300 v. Chr. bis zum Anfange unserer Zeitrechnung, wir haben bereits darauf hingewiesen, daß die vorwiegend philosophische Betrachtungsweise der Forscher vom griechischen Festland unter dem Einfluß von Eukleides und Archimedes der mathematischen Platz gemacht hatte.

Zunächst waren es die Abmessungen des Erdkörpers, die in dem 275 v. Chr. in Kyrene geborenen, von seinen Studien, die er in Athen betrieb, von Ptolemaios III 236 als Bibliothekar nach Alexandrien berufenen Eratosthenes ihren Bearbeiter fanden, bis 194 des Erblindeten Leben ein freiwilliger Hungertod ein Ende machte. Aber die Methode, die er anwendete, um den Umfang der Erde zu bestimmen, war neu, war es doch die erste Messung, die auf die Bezeichnung einer Gradmessung Anspruch hat. Zur Zeit der Sommersonnenwende spiegelte sich die Sonne am Mittage in tiefen Brunnen bei Syene in Oberägypten, während sie in Alexandrien um $^1/_{50}$ des Kreisumfanges vom Zenith entfernt blieb. Aus den Berichten der Reisenden aber wußte man, daß die Entfernung Syenes von Alexandrien rund 5000 Stadien betrug, woraus sich der Erdumfang sofort zu 250 000 Stadien, statt der von Archimedes angenommenen 300 000 Stadien ergab. Auch mit Beschreibung und Abgrenzung der Sternbilder hat sich Eratosthenes beschäftigt, die freilich der Astronomie nur wenig Nutzen brachten. Wie er aber bei seinen astronomischen Beobachtungen bereits Armillas angewendet haben soll,

so soll er bei seinen geographischen Beobachtungen Winkelinstrumente mit Diоptern zur Bestimmung von Berghöhen benutzt haben, die er dann seinem Hauptwerke, seiner Geographie, einverleibte. Nach Ptolemaios[1]) freilich hatte Hipparch das Instrument, einen Stab von vier Ellen Länge mit Absehen zuerst angegeben. Sehr schön ist auch die in seinem Lehrgedicht Hermes enthaltene Schilderung der verschiedenen Zonen, unter denen er bereits die heiße, die beiden gemäßigten und die beiden kalten unterschied.

Von Bedeutung für die Geographie, aber noch mehr für die Astronomie, waren die Arbeiten des Hipparchos, den alte und neue Schriftsteller den Großen zu nennen pflegen. Er war zu Nikaia in Bithynien, nach anderen in Rhodos geboren und lebte im 2. Jahrhundert v. Chr. wohl meist in Rhodos, wenn er sich wohl auch zeitweise in Alexandrien aufgehalten haben wird. Es spricht manches dafür, daß er dort seine Studien gemacht hat. Von seinen Schriften ist nur eine Jugendarbeit erhalten. Was wir von seinen Arbeiten wissen, haben uns Ptolemaios u. a. aufbewahrt. Denn jene Jugendarbeit war nichts anderes als ein Kommentar, eine kritische Bearbeitung eines Gedichtes, in welchem der Arzt des makedonischen Königs Antigonos Gonatas, der in Soloi in Kilikien geborene Aratos, um 270 v. Chr. die Lehre des Eudoxos in Hexameter gebracht hatte. Die Schrift war Phaenomena et Prognostica (*Φαινόμενα καὶ διοσημεῖα*) betitelt und enthielt außer dem ersten astronomischen noch einen zweiten Teil, der den meteorologischen Erscheinungen gewidmet war. Es ist noch nicht ausgemacht, welche Quellen diesem zweiten Teil zugrunde lagen. Wahrscheinlich ist er mit Benutzung der peripatetischen Schrift *περὶ σημείων* hergestellt, auf welche Aratos durch seinen Lehrer Praxiphanes, den getreuen Bewahrer theophrastischer Lehren, gewiesen sein mochte[2]). Hipparchos wies freilich, wenn auch zum Teil mit übertriebener Schärfe, nach, daß das Gedicht viele Unrichtigkeiten enthielt, wenn auch des Eudoxos Ansichten hier und da verbessert und erweitert waren. Trotzdem auch er, wie Eratosthenes, die Erde als den im Mittelpunkte der Welt ruhenden Zentralkörper annahm, so führte er doch wichtige Verbesserungen ein,

[1]) Almagest, Buch V, Kap. 14, vgl. Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1874, S. 170.

[2]) Knaack in Paulys Realenzyklopädie. Neue Bearbeitung, 2. Bd., Stuttgart 1896, S. 389.

indem er den Beobachtungen eine viel größere Wichtigkeit beilegte, als dies früher von den System bildenden Philosophen geschehen war. Dazu mußte er freilich neue Methoden verfügbar machen. Als mathematische führte er die Trigonometrie ein sowie die Begriffe der Länge und Breite und den der Parallaxe, für die Beobachtungen aber das Diopterlineal, wenn dies nicht ihm von Eratosthenes zur Verfügung gestellt worden war. So entdeckte er die ungleiche Länge der Jahreszeiten, zu deren Erklärung er den Mittelpunkt der Sonnenbahn aus der Erde gegen das Sternbild der Zwillinge hin verlegte, beschäftigte sich, wenn auch ungenauere Ergebnisse zeitigend, mit der Mondbahn, bestimmte genauer als bisher die Dauer des Jahres, suchte die Bewegung der Planeten zu erklären, indem er sie sich in exzentrischen Kreisen bewegen ließ, und „wagte sogar", wie Plinius[1]) berichtet, „bewogen durch das Auftreten eines neuen Sternes (was selbst einem Gott zu schwer sein dürfte), den Nachkommen die Sterne darzuzählen und sie namentlich zu verzeichnen". Übrigens war dies nicht der erste Sternkatalog, von dem wir wissen, solche hatten schon 144 Jahre früher die alexandrinischen Astronomen Timocharis und Aristyllos[2]) ausgearbeitet, wenn auch Hipparchos weiter ging, indem er in den seinigen alle mit bloßem Auge sichtbaren Sterne, also die bis zur sechsten Größe, eintrug. Er verzeichnete sie auch auf einem Globus, dem ersten Sternglobus, von dem uns berichtet wird, und der noch im 2. Jahrhundert n. Chr. in Alexandrien vorhanden gewesen zu sein scheint.

Bei Hipparchos findet sich auch, worauf Wohlwill[3]) aufmerksam macht, die erste Andeutung des Begriffes des Beharrungsvermögens. Nach Angabe des Simplicius[4]) hatte Hipparchos, die die gezwungene Bewegung erhaltende Luft durch eine den bewegten Körper begleitende Kraft ersetzt, wenn er sagte, daß „bei der aufwärts nach oben geworfenen Erde die aufwärts wirkende Kraft,

[1]) Caj. Plinii Secundi, Historia naturalis, 2. Buch, Kap. XXIV (XXVI). Übersetzung von Külp, herausgegeben von Osiander und Schwab 1840, S. 151.

[2]) Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877, S. 193.

[3]) Wohlwill, Ein Vorgänger Galileis im 6. Jahrhundert. Physikalische Zeitschrift 1906, Bd. 7, S. 26.

[4]) Simplicius in Aristotelis de coelo commentaria. ed. Heiberg. Berolini 1894. S. 262.

so lange sie die Kraft des Geworfenen überwiegt, die Ursache der Bewegung nach oben ist; je mehr sie überwiege, um so schneller werde das Geworfene nach oben bewegt; nehme sie ab, so werde es zunächst nicht mehr mit der gleichen Geschwindigkeit nach oben, später aber vermöge seines eigenen Gewichtes nach unten bewegt. Dabei beharre in gewissem Maße auch die aufwärts werfende Kraft, aber mit weiterer Abschwächung dieser werde das abwärts bewegte immer schneller bewegt und am schnellsten, wenn sie gänzlich zunichte geworden ist". Auch bei einem fallenden Körper „bleibe eine gewisse Zeit hindurch die Kraft dessen, der es zurückgehalten hat, indem sie als entgegenwirkende Ursache veranlasse, daß das Fallende anfangs sich langsamer bewegt".

Des Eratosthenes Arbeiten setzte um 135 v. Chr. der zu Apameia in Syrien geborene Poseidonios, der sich später die Insel Rhodos zum Wohnort erkor, fort. Aus der Beobachtung, daß der helle Stern im Schiff Canopus in Rhodos kaum noch aufgehe, während er in Alexandria die Höhe von $^1/_{48}$ des Kreises erreichte, suchte er mit Benutzung der allerdings nur ungenau bekannten Entfernung beider Orte den Erdumfang zu bestimmen und fand ihn zwischen 240 000 und 180 000 Stadien; auch den Abstand oder Sonne und des Mondes von der Erde suchte er zu ermitteln.

Die Arbeiten dieser den Alexandrinern meist zugezählten Männer haben die Erdkunde und die Astronomie in hohem Grade gefördert. Kenntnisse und Anregung erhielten sie ja aus der Hauptstadt der Ptolemaier. Außer ihnen aber waren es drei Männer, die deren Ruhm immer weiter verbreiteten, deren Tätigkeit aber der Hauptsache nach der Förderung der Physik und deren technischen Anwendungen galt, Ktesibios aus Askra in Ägypten, Heron aus Alexandrien und Philon aus Byzanz. Von den Schriften des Ktesibios ist nichts auf uns gekommen. Fast alle Nachrichten, die wir über ihn besitzen, verdanken wir Heron. Aber auch dessen zahlreiche Schriften liegen uns nicht im Original vor, ebensowenig die Syntaxis mechanica (*μηχανικὴ σύνταξις*), eine Schrift, die, nach den uns noch erhaltenen Bruchstücken zu urteilen, eine Enzyklopädie der damaligen Ingenieurwissenschaften war. Vielumstritten ist die Zeit, in der Heron lebte; gelingt es, sie festzulegen, so ist damit auch für die Lebzeit des Ktesibios und des Philon ein sicherer Anhalt gewonnen. Aber es sind nicht weniger als fünf Jahrhunderte, vom 3. Jahrhundert vor,

bis in das 3. Jahrhundert nach Beginn unserer Zeitrechnung, in welcher Zeit sich der Alexandriner des Lichtes der Sonne erfreut haben soll. Die Geschichte der Naturwissenschaft kennt außer dem für uns in Betracht kommenden noch zwei Mathematiker gleichen Namens, aber deren Lebenszeit ist bekannt, und eine Verwechslung mit ihnen ist ausgeschlossen. Der eine war der Lehrer des 412 in Byzanz geborenen athenischen Philosophen Proklos, von dem wir einen Kommentar des ersten Buches des Eukleides besitzen, lebte also in der ersten Hälfte des 5. Jahrhunderts n. Chr., der andere aber lebte noch später, um 612 n. Chr.[1]). Von diesen beiden hat man ihn dadurch zu unterscheiden können geglaubt, daß man aus der Überschrift der *Βελοποιικά* Herons nämlich *Ἥρωνος Κτησιβίου* auf das Verhältnis beider als Schüler und Lehrer schließen müsse. Nun lautet aber diese Überschrift in verschiedenen Handschriften verschieden, zudem hat Diels[2]) nachgewiesen, daß ihr eine Beweiskraft nicht zukomme. Man wird also auf sie als Beweismittel verzichten und sich nach anderen umsehen müssen. Diese findet Hultsch[3]) in der Prüfung der von Heron verfaßten Rechenbücher und in der der Bearbeitung eines Teiles der Heronischen Geometrie durch den Feldmesser Balbus, der 103 oder 117 den Kaiser Trajan auf einem seiner dazischen Feldzüge begleitete[4]), und gelangt so zu dem Ergebnis, daß als die Lebenszeit Herons mit großer Wahrscheinlichkeit das 2. Jahrhundert v. Chr. anzusehen ist[5]). womit auch M. Cantors Annahme stimmen würde, der die Lebenszeit des Alexandriners auf etwa 100 v. Chr. setzt[6]). Zu einem anderen Ergebnis kommt Wilhelm Schmidt, der neuerdings die Werke Herons herausgegeben hat[7]). Hatte schon Diels wegen der

---

[1]) Pauly, Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaften, 3. Bd. Stuttgart 1844, S. 1235.

[2]) H. Diels, Über das physikalische System des Straton. Sitzungsberichte der Berliner Akademie der Wissenschaften 1893, S. 106.

[3]) Hultsch, Berliner philologische Wochenschrift, Februar 1898, S. 170.

[4]) M. Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. Leipzig 1880, S. 468.

[5]) Vgl. Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 33.

[6]) Cantor, Die römischen Agrimensoren und ihre Stellung in der Geschichte der Feldmeßkunst. Leipzig 1875.

[7]) Schmidt, Heronis, Alexandrini opera, quae supersunt, omnia. Leipzig 1899 bis 1902.

Latinismen Herons seiner Lebenszeit frühestens in den Anfang unserer Zeitrechnung setzen zu dürfen geglaubt, so folgert Schmidt aus der Beschreibung einer Olivenpresse, von der Plinius[1]) angibt, daß sie innerhalb der letzten 22 Jahre (von 77 n. Chr. an gerechnet) hergestellt sei, daß Herons Mechanik nicht früher wie 55 n. Chr. verfaßt sein könne, da dort die Presse beschrieben sei. Demgegenüber aber zeigt E. Hoppe[2]), daß die Stelle bei Plinius unmöglich auf den von Heron behandelten Apparat bezogen werden kann und setzt seine Lebenszeit an den Ausgang, höchstens an den Anfang des 2. Jahrhunderts v. Chr. Ist aber die erste Bestimmung richtig, dann ist auch die Lebenszeit Philons festgesetzt, die übrigens Schmidt in die zweite Hälfte des 3. Jahrhunderts v. Chr. verlegt[3]), dann können ferner beide recht wohl Schüler des Ktesibios gewesen sein, da ihre Lebenszeit alsdann um 200 v. Chr. gesetzt werden muß[4]). So stehen wir nicht an, mit Rudio[5]) anzunehmen, wenn auch in anderem Sinne wie er meint, daß es wohl noch eine Weile dauern wird, bis die von Schmidt gemachte Annahme durchgedrungen sein wird. Über die Lebensverhältnisse des Ktesibios und Herons ist nun so gut wie nichts überliefert, über Philon wird uns berichtet, daß er sich längere Zeit in Rhodos aufgehalten hat.

Was nun die Arbeiten unserer drei Alexandriner anlangt, so ist uns von Ktesibios nichts erhalten. Doch scheint er einige der von Heron und Philon mitgeteilten Apparate erfunden zu haben. Namentlich berichtet Philon über eine von ihm angegebene Windbüchse (ἀεροτόνον) zum Schleudern von Steinen[6]). Neben den von diesen herrührenden Aufzeichnungen kommen noch die des Athenaios in Betracht, der eine Abhandlung über Belagerungsmaschinen neben Kompilationen aus Werken ähnlichen Inhaltes hinterlassen hat. Das

[1]) C. Plinii secundi naturalis historiae libri XXXIII. Lib. XVIII, 317.

[2]) E. Hoppe, Ein Beitrag zur Zeitbestimmung Herons von Alexandrien. Programm. Hamburg 1902.

[3]) W. Schmidt, Physikalisches und Technisches bei Philon von Byzanz. Bibliotheca mathematica, 3. Folge, Bd. 2, S. 377.

[4]) Hultsch, Paulys Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaften. Neue Bearbeitung, herausg. von Wissowa. Bd. II. Stuttgart 1896, S. 2034.

[5]) Rudio, Wilhelm Schmidt. Bibliotheca mathematica, 3. Folge, Bd. 6, S. 363.

[6]) W. Schmidt, Physikalisches und Technisches bei Philon von Byzanz. Bibliotheca mathematica, 3. Folge, 2. Bd., Leipzig 1901, S. 382.

Werk des Ktesibios über Hydraulik scheint ihm vorgelegen zu haben; da er aber Heron nicht erwähnt, so ist zu vermuten, daß er im 2. Jahrhundert v. Chr. seine Nachrichten verfaßte. Herons Werke liegen uns nur in späteren Bearbeitungen vor. Lange bildete das 1693 von Thevenot unter dem Titel: Veterum mathematicorum opera, aus den Manuskripten der Königlichen Bibliothek in Paris herausgegebene Werk, die Hauptquelle über die Arbeiten Herons, bis W. Schmidt nachwies, daß es ohne jede Kritik verfaßt ist. Die von ihm besorgte, mit deutscher Übersetzung versehene Ausgabe ist seither an dessen Stelle getreten. Daß es dem Baumeister des Kaisers Augustus, dem Vitruvius Pollio, vorgelegen habe, bezweifelt Schmidt. Besteht aber die von uns angenommene Zeitbestimmung zu Recht, dann ist es höchst wahrscheinlich, und der Umstand, daß Vitruvius den Heron nirgends zitiert, würde auch nach der Ansicht von Schmidt nicht dagegen sprechen.

So können wir uns ein im ganzen gewiß zutreffendes Bild der Leistungen jener drei Alexandriner machen. Das für uns wichtigste Werk Herons trägt den Titel Pneumatica (*πνευματικά*); es enthält die Beschreibung einer Reihe von Maschinen und Apparaten, die durch Luft oder Wasserdampf getrieben werden. Nächst dem zwei Bücher Automatentheater (*περὶ αὐτοματοποιητικῆς*), in denen er sich über Automaten verbreitet, die zum Teil sich bewegen können, zum Teil an ihren Ort gebunden sind. Von der Verfertigung von Geschossen handelt die Schrift Belopoiika (*Βελοποιικά*), der als Anhang eine Anweisung zum Bau von Handschleudern (*χειροβαλλίστρας κατασκευὴ καὶ συμμετρία*) beigegeben ist. Sie ist uns freilich nur als Fragment erhalten. In arabischer Übersetzung hat sich sodann eine Schrift über den Barulkus, die Hebewinde, erhalten, die aus drei Büchern besteht. Die in einer Handschrift in der Kaiserlichen Bibliothek in Wien vorhandene Abhandlung über die Diopter (*περὶ διόπτρας*) hat man lange für eine Arbeit über die Brechung des Lichtes gehalten, bis 1814 Venturi nachwies, daß sie die Diopter, Abseher, zum Gegenstande hat[1]). Dagegen ist wahrscheinlich die früher dem Ptolemaios zugeschriebene Arbeit De Speculis die Katoptrik Herons[2]); sie ist von Wilhelm v. Moerbeck 1269 übersetzt und zwar, wie es scheint,

[1]) Heller, Geschichte der Physik. Stuttgart 1882, Bd. I, S. 126.

[2]) Schmidt a. a. O., Bd. II. Leipzig 1900.

nicht etwa aus dem Arabischen, sondern unmittelbar aus dem Griechischen. Herons Mechanik wiederum hat sich in der arabischen Übersetzung erhalten und wurde 1900 von L. Nix mit beigegebenem deutschen Text und unter Zufügung der noch erhaltenen griechischen Fragmente veröffentlicht.

Alle diese Werke scheint Heron als Kompendien für seine Zuhörer geschrieben zu haben. „Es ist nötig," sagt er nach der arabischen Übersetzung seiner Schrift über die Hebewinde[1]), „daß die, welche Bekanntschaft mit der mechanischen Kunst machen wollen, wissen, welche Ursachen bei jeder Bewegung tätig sind, und es ist wichtig, daß den Studierenden nichts ohne Beweis dargeboten werde und nichts für sie ein Gegenstand des Zweifels bleibe; jedes Problem, das ihnen vorgelegt wird, soll in unserer Darstellung seine Auflösung finden. Wir erinnern deshalb an verschiedene Prinzipien, die schon die Alten gelehrt haben und die sich auf unsern Gegenstand beziehen." Hinsichtlich des Inhaltes der Schriften Herons dürfte Mach das Richtige treffen, wenn er sagt[2]): „Die vielen zum Teil hübschen und sinnreichen Kunststücke, welche Heron in der ‚Pneumatik' und auch in den ‚Automaten' beschreibt, die bestimmt waren, teils zu unterhalten, teils Staunen zu erregen, bieten uns mehr ein anziehendes Bild der materiellen Kultur, als daß sie uns wissenschaftliches Interesse abgewinnen könnten. Das automatische Ertönen von Trompeten, das selbsttätige Öffnen der Tempelpforten und der hierbei hörbare Donner sind keine wissenschaftlichen Angelegenheiten. Doch haben Herons Schriften viel zur Verbreitung physikalischer Kenntnisse beigetragen." Indem sie das taten, geben sie uns einen Überblick über die zur Zeit ihrer Entstehung vorhandenen Kentnisse, und so dürfen wir uns einer eingehenden Betrachtung ihres Inhaltes nicht entziehen.

Zunächst ist es der Heber, der zu den mannigfaltigsten Spielereien benutzt wird. Er dient dazu, Flüssigkeiten aus einem Gefäße in ein anderes überlaufen zu lassen, ohne daß man nötig hat, sie überzugießen. Am Boden eines Gefäßes, wohl auch versteckt angebracht, verhindert

[1]) Carra de Vaux, Les mécaniques ou l'élevateur de Héron d'Alexandrie, publiés pour la première fois sur la version arabe de Quòstâ Ibn Lûgâ et traduites en français. Extrait du Journal asiatique 1894, S. 142. Vgl. Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 33.

[2]) E. Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt. 5. Aufl. Leipzig 1904, S. 109.

er, daß eingegossene Flüssigkeit darin bleibt. Dabei wußte Heron, daß die Flüssigkeit nicht ausfließt, wenn beide Schenkel gleich lang sind. Den Grund dafür, daß sie alsdann wie eine Wage im Gleichgewicht bleiben wird, sieht er darin, daß ein zusammenhängender leerer Raum unmöglich ist. Denn die Luftteilchen berühren einander, wenn sie auch nicht fest miteinander verbunden sind. Aber zwischen ihnen sind, wie zwischen den Sandkörnern am Meere, leere Räume vorhanden. Ein leeres Gefäß enthält also immer Luft, wenn diese auch, weil sie aus kleinen unsichtbaren Teilchen besteht, übersehen wird. Gießt man Wasser in das Gefäß, so strömt die Luft aus, taucht man aber ein leeres Gefäß, die Öffnung nach unten in Wasser, so dringt dieses erst ein, wenn man den oben befindlichen Boden des Gefäßes durchstößt und so der Luft den Austritt ermöglicht. Sie muß also dem Wasser den Eintritt verwehrt haben und das kann sie nur, wenn sie ein Körper ist. Durch Druck kann aber die Luft zusammengepreßt werden, mit dessen Aufhören aber kehren die Luftteilchen infolge ihrer Elastizität in ihre frühere Lage zurück. Vergrößert man aber den leeren Raum, so werden die benachbarten Körperteilchen in ihn hineingezogen. Daher kommt es, daß ein leichtes Gefäß mit enger Mündung, wenn man es ausgesaugt hat, an den Lippen hängen bleibt. Verschließt man es aber mit dem Finger und nimmt ihn von der Öffnung hinweg, nachdem man sie in Wasser getaucht hat, so dringt dieses in das Gefäß hinein. Deshalb fallen auch die Schröpfköpfe nicht ab, wenn das hineingebrachte Feuer die Luft verzehrt hat, der in ihnen so hergestellte leere Raum zieht vielmehr andere Körper, wie Blut oder Eiter in sie hinein. Statt mittels des hineingebrachten Feuers die Luft herauszubringen, kann man dies auch durch kleine Pumpen, die man an Stelle der Schröpfköpfe verwenden kann, wenn man es nicht vorzieht, solche mit einer Pumpe zu versehen. Macht man demnach die untere Öffnung eines Gefäßes sehr eng oder bringt mehrere solche Öffnungen im Boden an, und hält die obere zu, so kann das Wasser nicht ausfließen, so lange man nicht die obere Öffnung freigibt, ein Versuch, den Heron in verschiedener Weise abgeändert hat. Diese Erklärung des Wesens der Luft schließt sich der Ansicht des Peripatetikers Straton an[1]), die zwischen der des Demokrit und des Aristoteles steht. Von Schriften

[1]) Diels, System des Straton. Sitzungsberichte der Berliner Akademie der Wissenschaften 1893.

Philons kannte man bis zum Jahre 1900 nur Fragmente in einer lateinischen Übersetzung. In diesem Jahre aber fand Carra de Vaux[1]) in Oxforder Handschriften die Beschreibungen einiger von ihm angegebener Luftdruckwerke und im folgenden Jahre in der Hagia Sophia in Konstantinopel seine Pneumatik in arabischer Übersetzung. Er hat sich eingehend mit Kriegsmaschinen und dem Hebel beschäftigt, sprach auch die Ansicht aus, daß der schwerere Körper rascher als der leichtere falle. Auch Philon hielt die Luft für einen Körper, glaubt aber, sich der Denkweise des Aristoteles nähernd, daß sie beim Saugen in die Höhe gehoben werde, weil ihr Gewicht geringer ist, wie das des Wassers, so daß dieses, welches mit ihr in Verbindung steht, an ihre Stelle tritt. Der Versuch, den er zur Erhärtung seiner Ansicht anstellt, hat für uns freilich nichts Überzeugendes; doch glaubte er aus dem innigen Zusammenhang zwischen Luft und Flüssigkeit erklären zu können, warum diese aus dem Boden eines engen Gefäßes nicht austritt, wenn jene nicht eintreten kann. Heron sowohl wie Philon haben auf diese Beobachtung hin eine Reihe von Gefäßen hergestellt, aus denen man nach Belieben Wasser, Wein oder eine Mischung beider austreten lassen konnte. Doch benutzten sie sie auch, um aus einem Gefäße Wasser oder Öl langsam, nach Maßgabe des Verbrauches, austreten zu lassen, und stellten so, wenn auch in weniger einfacher Weise, den Versuch an, für den viele hundert Jahre später Mariotte die nach ihm genannte Flasche konstruierte, den man weiter in zweckmäßiger Weise abgeändert, als die Rüböllampen aufkamen, benutzte, um das im Docht verbrannte Öl aus einem die enge Öffnung nach unten kehrenden größeren Behälter immer wieder zu ersetzen. In ähnlicher Weise aber hatten auch die Alexandriner bereits Lampen verfertigt. Sie beruhen auf demselben Vorgang, den man jetzt noch bei den intermittierenden Brunnen der Sammlungen physikalischer Apparate in Wirksamkeit sieht.

Aber nicht nur zur Luftverdünnung, sondern auch zur Luftverdichtung verwendeten die Alexandriner ihre Pumpen, die aus Pumpkolben in Pumpenstiefeln bestanden. Letztere hatten oben eine Öffnung zur Aufnahme frischer Luft, während sie unten eine sich nur nach außen öffnende Klappe besaßen. Eine solche wurde benutzt, um den Herons-

[1]) Carra de Vaux, Bibliotheca mathematica. 3. Folge, 1. Bd. Leipzig 1900, S. 28. — W. Schmidt, Physikalisches und Technisches bei Philon aus Byzanz. Bibliotheca mathematica. 3. Folge, 2. Bd. Leipzig 1901, S. 377.

ball, der mit dem Heronsbrunnen allein nach Heron genannt wird, mit verdichteter Luft zu versehen. Diese Einrichtung, verbunden mit dem Umstand, daß die Alexandriner noch keine Hähne nach Art der unserigen besaßen, gaben dem alten Heronsball ein von dem, wie wir es jetzt kennen, ganz verschiedenes Ansehen. Es war ein Gefäß, bis zu dessen Boden eine den Deckel luftdicht durchsetzende Röhre reichte. Aber die Röhre war nicht durch einen einfach durchbohrten Hahn verschlossen, sondern gabelte sich, die Durchbohrung der Gabelung aber war nicht konzentrisch zu deren Achse, sondern exzentrisch nach unten. In diese Gabelung wurde das ⊥-förmig gestaltete Ausgußrohr eingesetzt, dessen horizontaler Teil eine ebenfalls exzentrische Bohrung besaß, in die in senkrechter Richtung die Durchbohrung des senkrechten Teils mündete. War dieser nach oben gerichtet, so paßte die Durchbohrung des horizontalen Teiles auf die der gabelförmigen Enden des den Deckel durchdringenden Rohres, drehte man es abwärts, so war dies nicht mehr der Fall, das erstere war also nach außen abgeschlossen. Bei dieser Anordnung war es nicht möglich, wie das jetzt üblich ist, die Druckpumpe auf das Ausgußrohr aufzusetzen, sie war vielmehr seitlich angebracht, und es hatte der Heronsball eine von der jetzt gebräuchlichen ganz verschiedene Form. Ihm äußerlich ähnlich war ein aus zwei hohlen gläsernen Halbkugeln bestehender Globus, deren untere einen Bronzedeckel mit einem kreisrunden Loch in der Mitte besaß. Sie stellten das Modell des Weltalls vor, indem eine auf dem die untere Halbkugel füllenden Wasser in der Öffnung des Deckels schwimmend gehaltene kleine Kugel die Erde veranschaulichte. So sollte der Apparat nicht, wie W. Schmidt[1]) nach de Rochus[2]) Vorgang meinte, das Weltbild des Thales, nämlich die auf dem Wasser schwimmende scheibenförmige Erde, wiedergeben, es lag ihr vielmehr eine geozentrische Vorstellung zugrunde[3]).

Eine Druckpumpe lieferte auch den Wind für die Wasserorgel (ὕδραυλις), deren Erfinder, wie auch trotz des Namens der des Heronsballes wahrscheinlich Ktesibios gewesen ist. Die Wasserorgel bestand nach der uns von Heron überlieferten Beschreibung aus einer

---

[1]) Heronis Opera. ed. Schmidt. Leipzig 1899, I., S. 222.

[2]) A. de Rochus, La Science des philosophes et l'art des thaumaturges dans l'antiquité. Paris 1882.

[3]) K. Fittel, Das Weltbild bei Heron. Bibliotheca mathematica, 3. Folge, Bd. VIII, S. 113.

Druckpumpe, einem Windkessel und einer Windlade, in welche die Orgelpfeifen eingesetzt waren[1]). Der Kolben der Pumpe wurde durch einen zweiarmigen Hebel bewegt und verschloß die untere Öffnung des Stiefels, dessen Deckel eine Klappe bildete, die zwischen drei unten in Knöpfchen endenden Stiften sich so bewegen konnte, daß sie beim Herabgehen des Kolbens herabfiel, beim Aufsteigen durch die aus dem Kolben entweichende Luft zugepreßt wurde. Dabei wurde diese in den „Pnigeus", den Windkessel, gedrückt, ein glockenförmiges Gefäß mit Öffnungen an seinem unteren Rande, welches in einem weiteren mit Wasser gefüllten Gefäße stand. Mittels eines zweiten Rohres war eine Verbindung des Pnigeus mit der die Orgelpfeifen tragenden Lade hergestellt, so daß diese also stets Druckluft enthielt. Durch Niederdrücken einer Taste, die den einen Arm eines zweiachsigen Hebels bildete, konnte ein Schieber bewegt, dadurch die Pfeife mit der Windlade in Verbindung gesetzt und sie so angeblasen werden. Die Einrichtung war also im allgemeinen bereits die der jetzt noch im Gebrauch befindlichen Orgel, wobei nur der Blasebalg und das ihn belastende Gewicht durch die Pumpe und das mit Hilfe der Druckluft aus dem Pnigeus gepreßte und dadurch gehobene Wasser vertreten wird. Im Altertum scheint die Wasserorgel in häufigem Gebrauche gewesen zu sein. Wenigstens ist in den Ruinen von Kathago neuerdings eine Nachbildung aus hartem Tone von 20 cm Höhe und 6 cm Breite gefunden worden, welche von einem Töpfer Possessoris in der ersten Hälfte des 2. Jahrhunderts hergestellt worden ist. Die Einrichtung stimmt mit der beschriebenen überein, ergibt aber, daß bei ihm von den 15 im Altertum verwendbaren Tonleitern nur sechs benutzt wurden. Ktesibios hat auch daran gedacht, die Pumpe durch ein Windrad treiben zu lassen, eine Einrichtung, die wohl durchführbar, aber nicht besonders zweckmäßig erscheint.

Nach Vitruvius' Zeugnis wollte er auch zusammengepreßte Luft benutzen, um der Natur ähnliche Wirkungen hervorzubringen, so Amseln, welche singen, indem sie sich bewegen, und in Flaschen eingeschlossene Männchen, Engibata, welche, sobald sie trinken, zu tanzen anfangen, u. dgl. mehr. Von den letzteren vermutet Rode, daß sie nichts anderes, wie die später dem Des Cartes zugeschriebenen

---

[1]) Buttmann, Über die Wasserorgel und Feuerspritze der Alten. Abh. d. histor.-philol. Klasse der Akad. der Wissensch. in Berlin 1804 bis 1811, S. 133. Siehe Jan, in Baumeisters Denkmälern des klassischen Altertums. München und Leipzig 1885, Bd. I, S. 563.

Taucher seien[1]). Wichtiger war die Anwendung, bei welcher Ktesibios zwei Druckpumpen auf ein Ausgußrohr wirken ließ, welches den beim Heronsball bereits beschriebenen Verschluß besaß. Er erhielt so die Feuerspritze, die aber, da ihr der Windkessel fehlte, ihr Wasser nur mit Unterbrechungen schleudern konnte. Daß sie in der Tat noch nicht einen solchen besaß, werden wir zu beweisen haben, wenn wir die Beschreibung der verbesserten Feuerspritze betrachten, die wir dem Vitruvius verdanken. Doch ergibt sich hier bereits, daß die einfachsten Einrichtungen an Apparaten und Maschinen, welche uns am nächsten liegend zu sein scheinen, meist verhältnismäßig spät zur Verwendung gekommen sind. Wie einfach ist die Einrichtung des einfach durchbohrten Hahnes im Vergleich zu den von Ktesibios gewählten Rohrverschluß. Trotzdem begegnen wir ihm erst ziemlich spät, und man darf den Satz aufstellen, den unsere weiteren Betrachtungen immer wieder bestätigen werden, daß, je einfacher ein Apparat oder eine Maschine ist, eine um so längere geschichtliche Entwicklung ihr zugeschrieben werden muß. Hatte doch deren Schöpfer stets einen beschränkten Zweck vor Augen, den er zu erreichen trachtete, überwanden doch seine Nachfolger nur mit Mühe die dadurch bewirkte Einseitigkeit, und erst nachdem sie gelernt hatten, von dem besonderen Fall zum allgemeineren fortzugehen, gelang es ihnen, sich von dem unnötigen Beiwerk freizumachen. Im Grunde sehen wir also die physikalische Technik den nämlichen Entwicklungsgang gehen, dem wir in den mathematischen Disziplinen begegnen, der Bildung des Begriffes, der Idee, aus der Betrachtung der ihr untergeordneten Einzelfälle.

Die Einwirkung der Wärme und des Feuers auf die Luft hat Philon untersucht. Er verband zwei Gefäße durch ein zweimal rechtwinklig gebogenes Rohr, so daß die nach unten gelegenen Teile des horizontal aufgestellten, sie verbindenden Rohrstückes den Deckel der Gefäße luftdicht durchsetzten und fast bis zu deren Boden reichten. Füllte er nun das eine Gefäß mit Wasser und erwärmte das andere trocken gehaltene, indem man es in die Sonne setzte, so sah er aus dem im Wasser befindlichen Ende Luftblasen entweichen und beobachtete, wie bei folgender Abkühlung das Wasser in das bisher trockene Gefäß eindrang. Das nämliche beobachtete er, wenn er das ursprünglich

---

[1]) Vitruvius, übersetzt von August Rode. Bd. II. Göttingen 1796, S. 268.

trockene Gefäß durch Feuer oder darüber gegossenes heißes Wasser erhitzte. Erwärmt nimmt also die Luft einen größeren Raum ein, als wenn sie kühl gehalten wird[1]). Erhitzte er aber die Luft in einem kolbenartigen Gefäße, indem er es mit der Öffnung nach unten über ein brennendes Licht stellte und brachte dann die Öffnung unter Wasser, so sah er dieses in ihm emporsteigen. Die Luft, so erklärte man sich damals diesen Versuch, kann nicht mit dem Feuer zusammen bestehen, sie wird von ihm verzehrt. Diese Erklärung gestattet wohl nicht, wie dies Hellmann[2]) tut, Philons Apparat ein Thermoskop zu nennen. Die Wirkung des Feuers auf Wasser zeigte Heron mittels der Äolipile, einer kupfernen zwischen zwei Spitzen drehbaren Hohlkugel, die in der durch die Spitzen als Pole bedingten Meridianebene mit zwei in entgegengesetzter Richtung rechtwinklig gebogenen Röhrchen versehen war. Mit Wasser gefüllt und durch eine untergestellte Lampe erwärmt, geriet sie in rasche Drehung um die Spitzen, während der Dampf ausströmte. Ebenso wurde eine Kugel, die auf die trichterförmige Öffnung eines ebensolchen Wassergefäßes gelegt worden war, durch die Dämpfe emporgeschleudert. Sie hielt Heron für verdünnte Flüssigkeit, die durch Feuer zerstört wurde und dann in Luft überging. In der Tat hielt er es für möglich, daß ein Element in ein anderes übergehen könne. Wird z. B. ein Körper durch Feuer zerstört, so bleibt etwa dasselbe Volumen an Kohle zurück, aber das Gewicht ist ein anderes geworden, da die zerstörende Wirkung des Feuers einen Teil der ihn zusammensetzenden Elemente verwandelt hat, die dichten in Erde, die weniger dichten in Luft. Die Poren der Körper aber gestatten dem Licht den Durchgang; denn wenn das nicht der Fall wäre, so müßte sein Durchgang Wasser überlaufen machen; auch wäre Spiegelung unmöglich, da die Strahlen, wenn sie nicht durch die Poren gingen, das Wasser oder einen anderen spiegelnden Körper zerteilen müßten.

Den Bestrebungen, Dinge vorzuführen, die der gewohnten Anschauung widersprachen, mußten die Eigenschaften der Spiegel in hohem Grade entgegenkommen. In der Tat hat sie Heron in ausgiebigster Weise verwendet. Den ebenen Spiegel benutzte er, „um das,

---

[1]) W. Schmidt, Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik. Heft 8. Leipzig 1898, S. 103. Vgl. auch Burckhardt, Die Erfindung des Thermometers. Basel 1867, S. 4.

[2]) Hellmann, Die Anfänge der Meteorologie. Zeitschrift für Meteorologie. 1908, Bd. 25, S. 487.

was an einer Straßenecke oder auf einem Platz vorgeht, zu sehen", also zu demselben Zwecke, zu dem er heute als Spionspiegel verwendet wird, benutzte das Bild eines Spiegels, durch den man hindurchsehen konnte, zu ähnlichen Zwecken wie heute, also z. B. um täuschende Geistererscheinungen vorzuführen, zeigte mittels Winkelspiegeln das Bild eines Menschen zugleich von vorn und hinten, ließ durch die Zylinderspiegel eine ganz verzerrte Zeichnung in eine wohlproportionierte verwandelt werden u. dgl. mehr. Aber indem er zu der Anschauung zurückkehrte, daß die Lichtstrahlen aus dem Auge herausgetrieben würden, konnte er die von Eukleides bereits angenommenen Eigenschaften der Lichtstrahlen bestätigen, ja er konnte ihre gerade Fortpflanzung sowie ihre durch Reflexion gestörte für ebene und kugelförmige Spiegel erklären, indem er darauf aufmerksam machte, daß ein jeder Lichtstrahl, wie ein jeder geschleuderter und dabei etwa auf eine elastische Wand aufprallender Körper stets den kürzesten von allen möglichen Wegen einschlage.

Führte so die Freude an überraschenden physikalischen Versuchen die Alexandriner auf die Auffindung wichtiger physikalischer Gesetze, so haben sie auch versucht, Meßapparate herzustellen, die freilich nur den Zweck verfolgten, den Erfordernissen des täglichen Lebens zu genügen. So verbesserte Ktesibios die babylonischen Klepsydren (Wasseruhren), indem er die Ausflußöffnung für das Wasser in Gold oder einen Edelstein bohrte und so ihre Unveränderlichkeit wahrte, indem er ferner zugleich das ausfließende Wasser einen Schwimmer heben und durch eine an ihm befestigte Zahnstange das Getriebe eines vor einem Zifferblatt spielenden Stundenzeigers drehen ließ. Die Ausflußöffnungen konnten mit anderen vertauscht werden, um die Stundeneinteilung vom Sonnenaufgang bis zum Sonnenuntergang im Sommer und im Winter einhalten zu können. Bei diesen Uhren soll Ktesibios zuerst Zahnräder und Getriebe angewendet und mit ihrer Hilfe mancherlei Spielereien in Bewegung gesetzt haben, aber auch Kugeln, die herabfielen und so das erste Schlagwerk herstellten. Es wird von einer solchen Uhr berichtet, welche das ganze Jahr hindurch zu Alexandria die bürgerliche Zeit angab[1]). Doch wurden diese Uhren nicht als Klepsydren bezeichnet[2]). Heron wiederum machte

---

[1]) Humboldt, Kosmos. 2. Bd. Stuttgart und Tübingen 1847, S. 452.
[2]) Ideler, Handbuch der Chronologie. Bd. 1, 1825, S. 231.

sich verdient um die Apparate der Feldmesser. Über die Diopter hat er, wie wir sahen, eine besondere Schrift verfaßt. Zwei Absehen waren an einem um seine Mitte drehbaren Lineal angebracht, welches mit Hilfe einer mit unserer jetzigen Kanalwage übereinstimmenden Vorrichtung horizontal gestellt werden konnten. Abgelesen wurden damit die Höhen an Signalstangen, welche durch Senkel lotrecht gestellt werden konnten. Zur Herstellung einer Horizontalen diente der Chorobates, ein 20 Fuß langes, von zwei Füßen getragenes Lineal, welches durch zwei in der Nähe der beiden Enden befindliche Senkel oder mit Hilfe einer schmalen, auf ihm zur Aufnahme von Wasser angebrachten Rinne wagerecht gestellt werden konnte. Die Länge eines zurückgelegten Weges aber maß das Hodometer, ein wie unser Schrittzähler eingerichtetes Zählwerk, bei dem die Drehung eines Spillenrades mit Hilfe von Zahnrädern auf ein Zeigerwerk übertragen wurde. Von Arbeitsmaschinen sei schließlich noch ein Rammbär erwähnt, der dem Philo zugeschrieben wird.

f) Die Römer.

α) Vitruvius.

Bereits bei Betrachtung der nacharistotelischen Philosophie hatte sich ergeben, daß sie von den Römern irgendwelche Weiterbildung nicht erfahren hat. Auch in der reinen und angewandten Mathematik blieben sie auf die Griechen angewiesen. „Die Römer sind," schildert sie Cantor[1]), „wenn sie auch eine uralte Feldmeßkunst besaßen und des Rechnens zum täglichen Gebrauch nicht entbehren konnten, zur Mathematik schlecht genug veranlagt gewesen. Ein bis anderthalb Jahrhunderte lang, von Cäsar bis nach Trajan etwa, war eine verhältnismäßige Blütezeit römischer Geometrie und vielleicht auch römischer Arithmetik, beide auf griechische Quellen zurückgehend." Ihre Begabung lag auf einem anderen Gebiete, römische Legionen eroberten den ganzen bekannten Erdkreis und nach römischen Grundsätzen wird auch jetzt noch Recht gesprochen. Aber wenn ihnen auch die Produktivität der Griechen fehlte, so haben sie sich redlich Mühe gegeben, deren Wissenschaft sich anzueignen und, wenn auch in beschränktem Maße, fortzubilden. Die griechischen Philosophenschulen, die Neuplatoniker, die Epikureer, die Stoiker hatten ihre Jünger auch in Rom,

[1]) Cantor, Vorlesungen über die Geschichte der Mathematik. Leipzig 1880, S. 475.

die deren Lehren sich meistenteils in Athen angeeignet hatten, und wichtig sind ihre Schriften geworden, die eben, weil sie kompilatorisch waren, nicht nur uns vieles, was die Griechen schufen, aufbewahrt haben, sondern auch ein eigenes Interesse in Anspruch nehmen, indem sie zeigen, wie die Römer das ihnen Überlieferte weiter auszubilden suchten. So sind die im Jahre 14 n. Chr. beendeten, dem Kaiser Augustus zugeeigneten Schriften des Vitruvius, des Lehrers des Kaisers Nero, Senecas, die dem Kaiser Titus Vespasianus gewidmete Naturgeschichte des Cajus Plinius Secundus, das Lehrgedicht des am Ende des 1. Jahrhunderts n. Chr. geborenen Titus Lucretius Carus: Über die Natur der Dinge, aber auch die Schriften Ciceros und Plutarchs, der zwar von Geburt ein Grieche, in römischen Diensten stand, für die Geschichte der griechischen Wissenschaft von Wichtigkeit. Diese Nachrichten gewinnen vielfach durch die Ergebnisse der Ausgrabungen römischer Altertümer an Bedeutung, und so scheint es, daß die ungleicharmige Wage mit verschiebbarem Gewichte, die noch den Namen der römischen trägt, eine, vielleicht die einzige Erfindung der Römer ist, wenn man nicht den durch die verschiedene Stellung von Balken, welche auf Türmen aufgestellt wurden, Nachrichten vermittelnden Apparat des Vegetius Renatus (um 400 n .Chr.) als mechanischen Apparat gelten lassen will[1]). Schnellwagen hat man an den verschiedensten Orten, wohin die Römer ihre Kultur trugen, noch wohl erhalten in der Erde gefunden. Das Kunstgewerbe hatte sich ihrer bemächtigt, und so sind sie in schöner Ausstattung erhalten worden. Sie sind wahrscheinlich im 3. Jahrhundert v. Chr. in Kampanien zuerst aufgekommen[2]), wenn nicht die neuerdings von Ducros erwähnten Reste von Schnellwagen, die sich im Altertumsmuseum von Kairo befinden, auf einen ägyptischen Ursprung hinweisen sollten[3]).

Durch den Fund einer zweistiefeligen Druckpumpe in Castronovo an der Küste von Civitavecchia ließ sich sodann die alte Streitfrage definitiv lösen, ob die Feuerspritze der Römer bereits den Windkessel hatte oder nicht. Trotzdem noch Leibniz die Erfindung der Feuer-

---

[1]) Vegetius, De re militari III, 5. Vgl. Karraß, Geschichte der Telegraphie. Braunschweig 1909, S. 8.

[2]) Ibel, Die Wage im Altertum und im Mittelalter. Erlangen 1908, S. 66.

[3]) Ducros, Annales du Service des antiquités d'Égypte 1908, Bd. 9, S. 32 ff.

spritze mit Windkessel einem gewissen Hautsch zuschreibt[1]), so war man doch in späterer Zeit allgemein der Ansicht geworden, daß man sie bereits im alten Rom benutzt habe. Man konnte dazu auf die sehr ausgebildete Einrichtung des Feuerlöschwesens, man konnte darauf hinweisen, daß das Altertum den Heronsball besaß, daß es an der Wasserorgel einen Windkessel bereits benutzt habe, endlich, daß die Beschreibung der Feuerspritze, die uns Vitruvius hinterlassen hat, kaum eine andere Deutung zuläßt, als daß er eine solche mit Windkessel vor Augen gehabt habe[2]). Noch ehe ich die Abbildung der antiken Doppelpumpe kannte, hatte ich bereits Gelegenheit genommen, mich gegen die Annahme der antiken Feuerspritze mit Windkessel zu erklären[3]), die Kenntnisnahme der aufgefundenen bestätigte sie in vollstem Maße. Daraus aber, daß sie sich in den Thermen des Antoninus Pius gefunden hatte, also möglicherweise nicht als Feuerspritze gedient hatte, ließ sich kein Einwand entnehmen, weil die Pumpe auf das vollkommenste zu der Beschreibung des Vitruvius paßt. Ich kann dies nicht besser nachweisen, als mit den Worten meiner eben angeführten Arbeit, wenn auch mit Weglassung einiger polemischer Stellen:

„Vitruvius beschreibt zwar so ziemlich dieselbe Maschine wie Heron, aber er läßt die beiden aus dem Pumpzylinder heraustretenden Röhren in ein tiegel- oder beckenförmiges Gefäß, den ‚catinus', münden, welches einen trichterförmigen Deckel besitzt. Aus dem obersten Punkte desselben erhebt sich das Steigrohr, der Deckel aber ist mit Hilfe einer ‚fibula' mit dem ‚catinus' mittels eines durchgesteckten Keiles befestigt, damit ihn nicht die Gewalt des Aufblähens des Wassers emporhebe. Wie dies zu verstehen ist, wird aus der kurz vorher gemachten Bemerkung klar, daß das Wasser mit Hilfe der Luft in den ‚catinus' hineingetrieben werde (‚id quod spiritu in catinum fuerit expressum'). Diese Stelle, besonders aber noch die weiter unten folgende: ‚Hier

---

[1]) E. Gerland, Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin nebst der Biographie Papins. Berlin 1881, 324 u. 373.

[2]) Buttmann, Abh. der histor.-philolog. Klasse der Kgl. Akademie der Wissenschaften in Berlin. Berlin 1804 bis 1811, S. 133. — Maxwell in Handbook to the special Loan Collection of Scientific Apparatus. London 1876, S. 87. — Auch Heller, Geschichte der Physik. 1. Bd. Stuttgart 1882, S. 120. — Fr. v. Drieberg in seinem 1822 erschienen Buche: Die pneumatischen Erfindungen der Griechen.

[3]) E. Gerland, Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen 1883. Bd. XII, Nr. 183.

(im catinus) wird dadurch die Luft an den Deckel gedrängt, dehnt sich aber nach dem Drucke wieder aus und preßt das Wasser durch die Röhre in die Höhe' (e quo recipiens penula spiritus exprimit per fistulam in altitudinem), schien nun keine andere Deutung zuzulassen, als daß Vitruv hiermit den Windkessel meine .... Die Hauptschwierigkeit (für diese Deutung) ist die, daß die Befestigung des Deckels auf dem catinus keinen luftdichten Verschluß gibt, wie es der Windkessel doch erfordert, auch sagt Vitruv nicht, daß das Steigrohr bis auf den Boden des ,catinus' gereicht habe. Daß dies nicht seine Meinung gewesen sein kann, ergibt sich aus Buch 13, Kap. 10, welches auf die Beschreibung der Feuerspritze folgt und der Schilderung der Wasserorgel gewidmet ist. In diesem wird der trichterförmige Deckel des Lufthalters mit denselben Worten geschildert, wie vorher derjenige des ,catinus' (,uti infundibulum inversum')."

Die in Castronovo ausgegrabene Pumpe, die bereits 1795 von Visconti[1]) beschrieben und abgebildet ist, läßt nun keinen Zweifel bestehen, wie die dunkelen Stellen des Berichtes des Vitruvius zu verstehen sind. Sie „zeigt zunächst", fährt die angezogene Abhandlung fort, wie weit vorgeschritten die damalige Technik bereits war. Weiter sieht man, daß der ,catinus' ganz fehlt, da er durch die Weite des Steigrohrs überflüssig geworden war, und daß er wohl aus ästhetischen Rücksichten in einer Ausbuchtung des untern Steigrohres, welches das kurze vom horizontalen abgehende senkrechte Rohrstück überfängt, äußerlich nur noch angedeutet ist. Auch ist der Raum, den er einzunehmen hätte, an seinem oberen Ende durch ein Ventil scharf abgegrenzt, welches bei des Heron Konstruktion fehlt, freilich auch von Vitruvius nicht erwähnt wird. Gerade dies Ventil aber dürfte geeignet sein, die nötigen Erklärungen zu geben. Obgleich es auf den ersten Blick entbehrlich erscheint, so mußte seine Anbringung doch notwendig werden, als man versuchte, größere Wassermassen zu heben. Es diente alsdann dazu die Ventile in den horizontalen Rohrstücken zu entlasten, deren Spiel sehr erschwert werden mußte, wenn die ganze im Steigrohr enthaltene Wassersäule auf sie drückte. Da nun infolge des gewiß noch nicht sehr vollkommenen Schlusses der Pumpkolben wohl bei jedem Kolbenhub auch etwas Luft in das angesaugte Wasser geriet, die dann beim Niedergang des Kolbens

[1]) Giornale de la Letteratura Italiana. Mantova 1795, Bd. V, S. 303. Abgebildet ist sie u. a. Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 47, Fig. 49.

mit in das Steigrohr gepreßt wurde, so konnte es die Vorteile des Windkessels wenigstens einigermassen ersetzen. Es mußte ja diese Luft sich sofort unter das Ventil begeben und sich hier ansammelnd so lange zusammengepreßt werden, bis ihre Spannkraft imstande war, den Druck der im Steigrohre befindlichen Wassersäule zu überwinden. Dann mußte sie das Ventil öffnen und konnte durch das Steigrohr entweichen, indem sie die ganze Wassersäule hob. Dadurch war dann zugleich der Vorteil erreicht, daß die Pumpbewegung leichter und weicher wurde. Gegen den Windkessel aber stand diese Einrichtung insofern sehr zurück, als bei ihr die Luft stets erneuert werden mußte, wofür freilich der undichte Verschluß des Kolbens hinreichend sorgen mußte. Diese Annahme würde nun mit einem Schlage die sämtlichen Dunkelheiten der Vitruvius schen Darstellung aufhellen; daß ihr Urheber aber vergessen, das Ventil zu erwähnen, würde gewiß nicht schwer ins Gewicht fallen, da eine ähnliche Unterlassung auch bei Heron vorkommt[1]) und man nur anzunehmen hätte, daß Vitruvius seine Schilderung nach ihm ausreichender Information durch sachverständige Techniker und unter Zuhilfenahme der Pneumatika des Heron niedergeschrieben habe".

So unbegreiflich es nun auch erscheinen mag, daß die Alten, die der Idee, den Windkessel mit der Feuerspritze zu verbinden, durch die Zufügung dieses eigentlich unnötigen Ventils und fast mehr noch durch die Anwendung des Pnigeus bei der Wasserorgel sehr nahe kamen, doch diesen fast notwendig erscheinenden Schritt nicht taten, daß das ganze Mittelalter nicht dazu kam, und er erst im 17. Jahrhundert, wie bereits bemerkt wurde, gelang, so bestätigt das nur unsere Behauptung, daß je einfacher ein Apparat ist, er um so jünger sein muß. Man wird kaum fehlgehen, wenn man die wenig einfache Art des Einpumpens der Luft in den Heronsball dafür verantwortlich macht.

In des Vitruvius Schriften findet man, seinem Wirkungskreise entsprechend, hauptsächlich technische Apparate, während er, wie später Ptolemaios, zum Verständnis ihrer Wirkungsweise des Aristoteles Ansicht von der Bewegung festhält. Beide erweiterten sie jedoch dahin, daß der Körper, der in natürlicher Bewegung zum Mittelpunkt des Alls gelangt, sich in kreisförmiger Bahn weiterbewegt, da er ja nicht zur Ruhe kommen kann. So gewöhnte man sich die kreis-

---

[1]) Buttmann, Abhandl. der philol.-histor. Klasse der Kgl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin vom Jahre 1804 bis 1811, S. 144.

förmige Bewegung als die natürliche, die geradlinige als die gezwungene anzusehen[1]). Von Maschinen beschreibt Vitruvius einen Haspel von solcher Form, in welcher er auch jetzt noch zur Anwendung kommt, er schildert Flaschenzüge mit drei und mehr Rollen, und die Anwendung der Zahnräder ist ihm völlig geläufig. Gelegentlich der Aufstellung der Schallgefäße, die nach der Zerstörung von Korinth aus dessen Theater nach Rom gebracht wurden, und die als Resonatoren wirken sollten, indem sie unter den Sitzen in besondern Kammern so aufgestellt wurden, daß sie keine Wand berührten, bestrebte sich Vitruvius, die Wirkungsweise dieser ihren Zweck keineswegs erreichenden Einrichtungen zu studieren. Er entwickelte hierbei Ansichten über das Wesen des Schalles, die erkennen lassen, daß man ihn zu seiner Zeit bereits für eine Wellenbewegung der Luft hielt. „Die Stimme aber", sagt er[2]), ist ein fließender Lufthauch, und infolge der Berührung durch das Gehör vernehmlich; sie bewegt sich in unendlich kreisförmigen Rundungen fort, wie in einem stehenden Wasser, wenn man einen Stein hineinwirft, unzählige Wellenkreise entstehen, welche wachsend sich soweit als möglich vom Mittelpunkte ausbreiten, wenn nicht eine enge Stelle sie unterbricht oder irgendeine Störung eintritt, welche nicht gestattet, daß jene kreisförmigen Wellen bis ans Ende gelangen. Denn so bringen die ersten Wellenkreise, wenn sie durch Störungen unterbrochen werden, zurückwogend die Kreislinien der nachfolgenden in Unordnung. Nach demselben Gesetze bringt auch die Stimme solche Kreisbewegungen hervor, aber im Wasser bewegen sich die Kreise nur nach der Breite fort; die Stimme aber schreitet einerseits in der Breite vor und steigt anderseits stufenweise in die Höhe empor."

Wir begegnen hier zum ersten Male dem Versuch eines der später sogenannten Imponderabilien durch eine Wellenbewegung eines Mittels zu erklären. Denn wenn auch Aristoteles' Ansichten der Annahme, daß der Schall eine Wellenbewegung der Luft sei, nicht widersprechen, so sind sie doch anderseits keineswegs geeignet, darauf hinzuführen. Dagegen wird man doch nicht fehlgehen, wenn man annimmt, daß bei Vitruvius, wenn auch noch überaus verschwommen, der Gedanke zugrunde lag, den Schall durch eine Wellenbewegung zu erklären, die sich kugelförmig in der Luft ausbreitet. Wie nun aber im 17. Jahrhundert, als

---

[1]) De Architectura. Lib. V, 8.

[2]) De Architectura. Lib. V, 3, 6.

man den Versuch zuerst machte, das Licht in ähnlicher Weise als Wellenbewegung zu erklären, sogleich diesem Versuch der andere gegenübertrat, der die stoffliche Natur des Lichtes behauptete, so wurde auch damals schon einer solchen Erklärungsweise die entgegengestellt, welche Stoffteilchen vom tönenden Körper ausgehen und in das Ohr gelangen ließ. Es waren der 98 v. Chr. in Rom geborene und im Alter von 44 Jahren daselbst verstorbene Titus Lucretius Carus und der Erzieher des Kaisers Hadrian, Plutarchos, welche die stoffliche Natur des Schalles vertraten. Plutarchos war von Geburt ein Grieche; er hatte 23 n. Chr. in Chaironeia in Böotien das Licht der Welt erblickt, auch in Athen seine Bildung empfangen. Aber den größten Teil seines Lebens hat er in Rom verbracht, und wenn er auch nach Hadrians Regierungsantritt als Prokurator Griechenlands dorthin zurückkehrte und hier im Jahre 120 n. Chr. vom Tode ereilt wurde, so waren doch seine Anschauungen mit denen seiner römischen Zeitgenossen in solcher Übereinstimmung, daß wir ihn diesen zuzählen dürfen. Verhielt er sich doch wie diese nur rezeptiv in bezug auf die Lehren, welche die griechischen Philosophen der Vorzeit entwickelt hatten.

β) Lucretius, Seneca, Plutarchos und Plinius.

Luçretius hat seine Ideen in einem viele poetische Schönheiten enthaltendem Gedicht: De rerum natura, also „über die Natur der Dinge", aber nicht, wie Heller[1]) übersetzt „über die Dinge der Natur", niedergelegt, dessen Endzweck die Darstellung und Verherrlichung der Lehre des Epikuros ist. So verfolgt es denn durchaus materialistische Tendenzen, und so hält er denn Winde, Gerüche, Hitze, Kälte, Stimme und Töne[2]), ja selbst Seele und Geist[3]), die zwar unterschieden, aber als fest verbunden gedacht werden, für körperlicher Natur, da jene sonst den Sinn nicht anstoßen noch rühren könnten[4]). Wie oberflächlich Lucretius urteilt, geht daraus hervor, daß er aus dem Umstand, daß ein heftig Geschrei die Kehle rauh und heiser mache, also den Körper verletze, auf dessen Körperlichkeit schließt[5]). Der rauhere Ton entsteht aus rauherem Urstoff, der glatte aus glattem[6]), die Stimme aber kann im Gegensatz zu den die Lichtempfindung vermittelnden Bildern

---

[1]) Heller, Geschichte der Physik. Bd. I. Stuttgart 1882, S. 8.
[2]) Lucretius Carus, De natura rerum, Lib. I, V. 295 ff.
[3]) Ib. Lib. III, V. 136. — [4]) Ib. Lib. I, V. 299.
[5]) Ib. Lib. IV, V. 528. — [6]) Ib. Lib. IV, V. 540.

durch gewundene Gänge gehen[1]). Die Ansichten des Dichters über das Wesen des Stoffes kommen mit denen des Epikuros überein. Die Atoms werden als unendlich klein und ewig gedacht, sie sind vielerlei Art[2]), von außen strömt stets Urmaterie dem von keiner Seite begrenzten All zu[3]). In andern Ansprüchen des Lucretius möchte man geneigt sein, viel spätere Anschauungen bereits vorbereitet, wenn nicht ausgesprochen zu finden. So sagt er über den Fall der Körper im leeren Raum:

„Aber der leere Raum setzt niemals sich einem der Dinge
Irgend auf eine Weis' entgegen, so daß es den Weg nicht
Nehmen könne dahin, wohin es die eigene Natur treibt.
Alles muß sich daher, ob bei ungleichem Gewichte,
Abwärts treiben mit nämlicher Eil im ruhigen Leeren[4])".

Im Gegensatz zu Aristoteles nimmt ja Lucretius das Vorhandensein eines leeren Raumes an und kommt folgerichtig zu dem Schluß, daß in ihm alle Körper gleich rasch fallen. Aber in Übereinstimmung wiederum mit dem Stagiriten setzt er voraus, daß die den Körpern innewohnende Bewegung ihnen für immer verbleibe. In dieser Hinsicht sagt er:

„Um deswillen auch ist die Bewegung, in welcher die Stoffe
Gegenwärtig noch sind, schon seit unvordenklichen Zeiten
Eigen ihnen gewesen und wird auch ferner es noch sein"[5]).

Sätze, die mit der Annahme des Beharrungsvermögens der Körper wohl in Einklang zu bringen sind, wenn sie auch damals gewiß nicht in der nämlichen Weise aufgefaßt wurden, wie wir es jetzt tun. Schwieriger ist die Deutung der folgenden Stelle:

„Dann erhitzt er (der Wind) sich selbst durch Umtrieb, denn durch Bewegung
Werden die Dinge heiß und entzünden sich: bleierne Kugeln
Schmelzen sogar im Flug durch weite Räume getrieben"[6]).

Auf diese Weise soll die aus der Wolke brechende Glut des Blitzes erklärt werden. Nun ist die Behauptung, daß die Dinge nur durch Bewegung heiß werden, nicht richtig, diese Beobachtung kann also nicht

---

[1]) Ib. Lib. IV, V. 587. — [2]) Ib. Lib. I, V. 610 ff.
[3]) Ib. Lib. I, V. 942 u. 1030 ff.
[4]) Ib. Lib. II, V. 229 ff. nach der Übersetzung von Knebel.
[5]) Ib. Lib. II, V. 288 ff. — [6]) Ib. Lib. VI, V. 174 ff.

gemacht sein. Wohl aber werden sie durch den zugleich wirkenden Einfluß der Reibung heiß, und man möchte deshalb vermuten, daß Lucretius ihn mit dem Einfluß der Bewegung verwechselt hätte. Ebensowenig kann man beobachtet haben, daß bleierne Kugeln im Flug schmelzen. Dazu wären doch andere Geschwindigkeiten nötig gewesen, wie die, welche die Schleudermaschinen der Alten hervorbringen konnten. Der Annahme aber, daß das Geschoß beim Auftreffen sich bis zur Schmelztemperatur erhitzt hätte, steht in erster Linie der Wortlaut entgegen, in zweiter die dazu nicht ausreichende Geschwindigkeit der Geschoße. Es wird also wohl das richtige sein, wenn man annimmt, daß die Behauptungen aufgestellt worden sind, ohne durch zureichende und richtig verstandene Beobachtungen gestützt zu sein, eine Vorahnung des Prinzips der Erhaltung der Energie ist jedenfalls daraus nicht zu konstruieren. Ebensowenig ist aber der von Lucretius ausgesprochene Satz:

„Daß aus nichts nichts wird, selbst nicht durch den Willen der Götter"[1])

als auf das Prinzip der Erhaltung des Stoffes hinzielend aufzufassen. Hatte man doch zu seiner Zeit noch keinen Begriff von dem chemischen Prozeß[2]), der Dichter meint in der Tat nur die organischen Wesen, deren Erzeugung und deren Vergehen, wie sich auch sofort aus der aus dem obigen Satz gezogenen Folgerung ergibt:

„Könnten aber aus nichts die Dinge werden, so könnt auch
Alles aus allem entstehen; nichts brauchte des zeugenden Samens"[3]).

So sind auch bei allen Änderungen, die der Urstoff erleidet, um die Körper zu bilden, immer nur die Änderungen physikalischer Eigenschaften gemeint.

Die Anziehung des Eisens durch den Magneten erklärte Lucretius und ebenso Plutarchos so, daß dem Steine in Menge der Samen des Urstoffes oder ein Hauch entwallet, der die Luft zwischen Magnet und Eisen wegtreibt. In den dadurch entstandenen leeren Raum stürzt das Eisen, oder die in seine Umgebung befindliche Luft strebt dorthin und reißt das Eisen mit fort. Nun findet sich aber bei Lucretius zum ersten Male die Bemerkung, daß das Eisen auch abgestoßen wird. Das veranlaßt ihn freilich nicht, seine Erklärung abzuändern. Er führt die Tatsache einfach an:

---

[1]) Ib. Lib. I, V. 148.
[2]) Kopp, Geschichte der Chemie, 1. Bd., Braunschweig 1843, S. 31.
[3]) Lucretius, Lib. I, V. 156.

„Auch zuweilen geschieht's, daß von diesem Steine das Eisen
Sich abwendet, ihn flieht und darauf ihn wieder verfolgt"[1])

vielleicht absichtlich kurz, weil sie seinem Erklärungsversuch sich durchaus nicht unterordnet. Aber vielleicht steht es mit jener Beobachtung im Zusammenhang, daß

„Eisen, ins Wasser getaucht aus der Glut, erhärtet im Wasser"[2]).

Hübsch ist die Bemerkung: „Ich sah
Feilstaub kochen und wallen in ehernen Schalen, sobald man
Unterlegte den Stein des Magnets"[3]).

Am schwächsten sind die Anschauungen des Dichters vom Licht und vom Sehen. Von den Dingen sollen sich Bilder ablösen, welche die zwischen ihm und dem Auge befindliche Luft fortstoßen und dann in das Auge hineinschlüpfen[4]). Vom Spiegel prallt das Bild zurück wegen dessen Glätte aber nicht unverändert[5]); das aber geschieht alles mit einer ganz ungeheuren Geschwindigkeit. Die Schilderung des Gewitters und dessen Entstehung, die Erklärung von Blitz und Donner sind zwar poetisch sehr schön, bieten aber keine neuen physikalischen Gesichtspunkte. Es berührt seltsam, hier Anschauungen bereits zu begegnen, die vor nicht allzu ferner Zeit noch häufig geglaubt wurden, wie die Entstehung des Gewitters durch den Zusammenstoß zweier Wolken u. dgl. mehr. Auch das St. Elmsfeuer, welches auf den Masten der Schiffe im Mittelmeer, in seltenen Fällen auch auf dem Lande beobachtet wurde, erregte die größte Aufmerksamkeit, an eine Erklärung der Erscheinung war aber bei gänzlicher Unkenntnis der elektrischen Tatsachen nicht zu denken.

In allen diesen Anschauungen finden wir die der Griechen wieder. Plutarchos, Plinius (23 bis 79 n. Chr.) und Seneca (2 oder 3 bis 65 n. Chr.) fügen wohl die eine oder andere Beobachtung hinzu, in den Erklärungen aber gehen sie über ihre Vorbilder nicht hinaus. Den Wissensschatz, über den sie verfügten, hat uns Lucretius bereits kennen gelehrt. Von den mit vielem Aberglauben vermischten Berichten über Blitzbeobachtungen haben wir hier nur insoweit Kenntnis zu nehmen, als es möglich ist, daß die damalige Zeit Funkenblitze, Flächenblitze und vielleicht auch Kugelblitze kannte. Mit Sicherheit ist das jedoch nicht zu behaupten, da die auf uns gekommenen Schilderungen keineswegs

[1]) Ib. Lib. VI, V. 1028. — [2]) Ib. Lib. VI, V. 957.
[3]) Ib. Lib. VI, V. 1031. — [4]) Ib. Lib. IV, V. 244.
[5]) Ib. Lib. IV, V. 290.

scharf genug sind, um jeden Zweifel über das, was darunter gemeint war, unzweideutig erkennen zu können. Auch was uns Seneca über die Spiegel mitteilt, beweist nur, daß Hohlspiegel als Vergrößerungsspiegel und als Brennspiegel vielfach benutzt wurden, erzählt doch Plutarchos im Leben Numas, daß man das erloschene Feuer im Tempel der Vesta mittels einer in die Sonnenstrahlen gehaltenen kugelförmigen Schale wieder anzündete, und berichtet Seneca ebenso, daß eine mit Wasser gefüllte Flasche eine vergrößernde Wirkung ausübe[1]), so daß sie nach Plinius' Mitteilung als Brennglas wirken konnte?[2]) Daß Brenngläser bei den Alten bereits in häufiger Benutzung gewesen sein müssen, beweist die bereits erwähnte Stelle aus den Wolken des Aristophanes (Vers 766 bis 772), der einem Schuldner den Rat gibt, die ihm vorgelegte Rechnung auf einem Wachstäfelchen mittels eines in die Sonnenstrahlen gehaltenen Brennglases auszulöschen[3]). So hat man auch in Pompeji eine verwitterte und zerbrochene Linse von kurzer Brennweite gefunden, in Herkulanum kugelförmige Glasstücke, die aber nur als Zierrat gedient haben dürften. Den Regenbogen erklärte Seneca[4]) als ein einziges in die Länge gezogenes Sonnenbild, das von der hohlen Wolke zurückgeworfen werde. Die Farben verglich er mit denen, welche mit Längskerben versehene Glasstäbe sehen lassen, läßt sie aber entstehen, indem sich Sonnenstrahlen verschiedener Stärke mit der Farbe der Wolken vermischen. Für prismatische Farben aber sah er sie nicht an, denn er hielt sie nicht für echt, sondern nur durch Reflexion vorgetäuscht. Aber unterschied in ihnen als Hauptfarben Rot, Gelb und Blau, die durch viele Farbentöne ineinander übergehen, und er ist wohl der erste, der von der Farbenzerstreuung durch das Prisma redet.

Die ebenen Spiegel gehörten schon früh zu dem Hausrat der Römer. Sie wurden aus Kupfer hergestellt, später galten die brundisischen für die besten, die nach Plinius[5]) aus Zinn und Erz zusammengesetzt waren. Zur Zeit des Pompejus waren silberne, die

---

[1]) Seneca, Naturalium quaestionum. Lib. I, Cap. 6, § 5.

[2]) Plinius, Historia naturalis, Lib. XXXVI, Cap. 90 u. 67.

[3]) Auf die Verse hat zuerst aufmerksam gemacht De la Hire in Histoire de l'Academie Royale des Sciences 1708, S. 112.

[4]) Seneca, Naturalium quaestionum I, 7, 1.

[5]) Historia naturalis. Lib. XXXIII, Cap. 45.

Praxiteles zuerst machte, die beliebtesten, doch scheinen sie auch schon früher angewendet worden zu sein, da sie allerdings von Schriftstellern des 3. Jahrhunderts unter den Schätzen berühmter Tempel angeführt werden. Solche Metallspiegel hatten oft bedeutende Größe und waren kostbar ausgestattet. Auch Steine, wie den von Obsidius in Äthiopien gefundenen Obsidian oder den Phengit (Kaliglimmer), verwendete man, wenn sie auch nur wenig kräftige Bilder gaben[1]. Aber auch Glasspiegel scheint Plinius gekannt zu haben, wie aus folgender Stelle seiner Naturgeschichte hervorgehen dürfte[2]. „Das Glas wird durchs Blasen geformt, auch drechselt man es und graviert es, wie Silber. Sidon war früher durch solche Werkstätten berühmt, wie denn auch hier die Spiegel erfunden worden sind." Auch der zu Aphrodisias am Ende des 2. Jahrhunderts n. Chr. geborene Peripatetiker Alexandros, der zu Athen lehrte, kennt die Glasspiegel. In allgemeineren Gebrauch scheinen sie jedoch erst später gekommen zu sein[3].

Auffallend ist es, daß den römischen Forschern der Begriff des spezifischen Gewichtes noch fehlte, so daß dieser unmöglich von Archimedes bereits aufgestellt sein kann, obwohl sie gerade auf dem Gebiet der Lehre von den Flüssigkeiten selbständige Leistungen aufzuweisen haben. So fand der um 103 n. Chr. gestorbene Sextus Julius Frontinus, der, nachdem er an den Feldzügen in Deutschland und Britannien teilgenommen hatte, vom Kaiser Nerva mit der Oberaufsicht der römischen Wasserleitungen betraut worden war, daß die Menge des aus einem Gefäße ausfließenden Wassers nicht blos von der Größe der Öffnung, sondern auch von der Höhe des Wasserspiegels im Gefäße abhängt[4], ein Satz, der später von Torricelli weiter gebildet wurde. Über die schwimmenden Körper aber sagt Seneca[5]: „Jedes Ding wäge ab und stelle es Wasser gegenüber, bis beider Raummenge gleich ist. Ist nun das Wasser schwerer, so wird es den Gegenstand tragen, der leichter als es selbst ist, und es wird ihn so weit über sich herausheben, als er leichter ist: das schwerere wird herabrinnen. Wenn dagegen das Gewicht der Wassermenge und des gleich großen Dinges

[1] Ebenda, Lib. XXXVI, Cap. 67.

[2] Ebenda, Lib. XXXVII, Cap. 16.

[3] Vgl. über alles dies Wilde, Geschichte der Optik, I. Teil. Berlin 1838, S. 67.

[4] Sextus Julius Frontinus, De aquis urbis Romae. Rec. Buecheler, Lipsiae 1858.

[5] Seneca, Naturalium quaestionum III, 25, 5 f.

das nämliche ist, wird letzteres nicht nach dem Boden gehen, noch herausragen, sondern mit dem Wasser im Gleichgewicht bleiben; es wird zwar schwimmen, aber fast in das Wasser eingetaucht, und so, daß es an keinem Teile herausragt. Das ist der Grund, warum gewisse Balken über dem Wasser fast ganz herausgehoben, getragen werden, warum andere bis zur Hälfte untergetaucht sind, andere so weit einsinken, daß ihre Oberfläche im Niveau des Wassers liegt". Vom spezifischen Gewicht ist also hier noch nicht die Rede. Aber ebensowenig kennt es auch Plinius. „Jedermann kennt", sagt er[1]), „die höchst wunderbaren Naturerscheinungen, daß Erz und Blei in Klumpen untergehen, breit geschlagen aber schwimmen, daß Gegenstände, die genau das nämliche Gewicht haben, teils untersinken, teils oben bleiben, daß sich Lasten auf dem Wasser leichter fortbewegen lassen, daß der Scyrische Stein (Bimsstein) in großen Stücken schwimmt, wenn man ihn aber klein schlägt, untergeht; daß frische Leichen zu Boden sinken, wenn sie aber aufgeschwollen sind, wieder auf die Oberfläche kommen, daß leere Gefäße nicht leichter aus dem Wasser zu ziehen sind als volle" und an einer andern Stelle[2]) „Einige geben sich vergebliche Mühe, die Zuträglichkeit (des Wassers) mit der Wage zu untersuchen, da es sehr selten ist, daß eines leichter sei." Würde sich der Freund des Kaisers Vespasian nicht anders ausgedrückt haben, wenn ihm der Begriff des spezifischen Gewichtes bereits geläufig gewesen wäre? Daß dies aber auch noch im 2. Jahrhundert n. Chr. nicht der Fall war, beweist die Art, wie der aus Pergamos gebürtige um 200 gestorbene Leibarzt des Kaisers Commodus, Galenos, den Salzgehalt einer für Arznei tauglichen Lake bestimmen will. „Man hat bereits", sagt er[3]), „für das Einsalzen ein Maß dafür angegeben, daß die vorhandene Lake gehörig gemischt ist, wenn es sich zeigt, daß ein Ei darin schwimmt; sinkt es noch hinab und schwimmt noch nicht an der Oberfläche, so ist die Lake zu wässerig und süß."

Die Ausdrucksweise der genannten Schriftsteller ist nun allerdings eine derartige, daß es schwer wird, nicht an ihre Bekanntschaft mit dem Begriff des spezifischen Gewichtes zu glauben. Doch werden wir später beweisen können, daß auch die einfachsten Instrumente zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes einer späteren Zeit angehören, hier wollen

[1]) Plinius Secundus, Nat. hist. Lib. II, 106.

[2]) Ebenda, XXXI, 38.

[3]) *Γαληνου περὶ κράσεως καὶ δυνάμεως τῶν ἁπλῶν φαρμάκων.* Opera omnia. ed. Kühn. Vol. XI, S. 691.

wir nur darauf hinweisen, daß die Schwierigkeit, den Begriff aufzustellen, in der Art der Entwicklung, die das Maßsystem der Babylonier durchgemacht hatte, ihren Grund findet. Wohl durch Vermittlung der Phönizier war es durch Pheidon von Argos, aus dem Geschlechte der Herakliden, der um 750 v. Chr. den Peloponnes beherrschte, in Ägina und Korinth, später durch Solon in Athen eingeführt oder wenigstens waren durch ihn die athenischen Maße mit den äginetischen in Einklang gebracht[1]). Aber der Zusammenhang von Maß, Gewicht und Zeit war verloren gegangen und die Bestimmungen waren nur durch meist sehr ungenaue Urmaße festgelegt. Ähnlich war es bei den Römern, die ihre Maße von den Griechen erhalten hatten, wenn auch bei ihnen die Urmaße besser festgesetzt waren. Obwohl nun genau bestimmt war, welches Gewicht einer Flüssigkeit, Öl, Wein usw. ein Körpermaß, die Amphora oder die Kotyle faßte, so war doch als Gewichtseinheit nicht wie im metrischen Maßsystem das Gewicht der Volumeneinheit Wasser festgesetzt. Während diese Beziehung sofort auf das spezifische Gewicht als des Gewichtes der Volumeneinheit des Körpers führt, so trat diese Beziehung in den Gewichtssystemen der Alten keineswegs hervor, und man hatte keine andere Veranlassung, das Gewicht gleicher Volumina des Körpers und des Wassers zu vergleichen, als die Wichtigkeit des Wassers für das Leben und seine allgemeine Verbreitung. Wir werden im folgenden Abschnitt zeigen können, daß es in der Tat Abwägungsversuche des Trinkwassers waren, welche zu dem Begriff des spezifischen Gewichtes führten.

g) Ptolemaios und die jüngeren Alexandriner.

Diese selbstständige Weiterbildung der Wissenschaft war den Griechen vorbehalten. Sie ist die letzte wissenschaftliche Tat dieses so begabten Volkes und zugleich der Gelehrtenschule Alexandriens. Nach Heron bewahrte sie noch Jahrhunderte hindurch ihren Ruhm und ihre Tüchtigkeit, und ihr verdankt man die Arbeiten auf optischem Gebiet, die man lange als die einzigen experimentellen des Altertums angesehen hat. Daß das freilich zu weit gegangen war, konnten wir zeigen, wohl aber haben diese Versuche vor

---

[1]) Baumstark in Paulys Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaft. Art. Mensura IV. Stuttgart 1846, S. 1828.

den meisten andern, die wir den Griechen zuschreiben müssen, das voraus daß sie zum ersten Male die Abhängigkeit zweier Größen voneinander darzustellen suchten. Sie hatten den Zweck, das Brechungsverhältnis zu finden, der Mann aber, der sie anstellte, war Claudius Ptolemaios, Πτολεμαῖος ὁ Κλαύδιος, wie ihn der Lexikograph Suidas nennt. Als seine Heimat findet man Pelusium angegeben, doch beruht diese Angabe auf einer Verwechslung, er stammte höchst wahrscheinlich aus Ptolemais Hermeiu und lebte zur Zeit der Regierung von Antoninus Pius, der von 138 bis 161 den römischen Kaiserthron innehatte[1]). Sein Leben verbrachte Ptolemaios in Alexandrien, wo er im Serapeion arbeitete. Davon zeugen allerdings nur seine Schriften über sein Leben sind uns weitere Nachrichten nicht erhalten. Aber auch seine Schriften besitzen wir nicht mehr in den Originalen, sie sind nur in den arabischen Übersetzungen auf uns gekommen, später aus diesen dann in das Lateinische übertragen.

Das Werk, das ihm den meisten Ruhm eingetragen, führte den Titel der μεγάλη σύνταξις τῆς ἀστρονομίας, es enthielt eine vollständige Zusammenstellung der astronomischen Kenntnisse seiner Zeit und ist vielfach kommentiert worden. Ihm selbst brachte es den Titel des μέγας ἀστρόνομος, des großen Astronomen, ein, sein Werk aber wäre verloren gegangen, wenn es die Araber nicht dem Abendlande erhalten hätten. Schon um 827 wurde es in ihre Sprache übersetzt, indem sie aber anstatt des großen (μέγας) das größte (μέγιστος) setzten, gaben sie ihm den Titel Tabrir al magesthi, welcher in abgekürzter Form als Almagest von den Abendländern beibehalten worden ist. Damals war eine Abschrift in die Hände des Kalifen Al Mamûn gekommen, der sie durch seinen Leibarzt und dessen Sohn übersetzen ließ. Dies Werk ist dann von den berühmtesten arabischen Gelehrten immer wieder durchgesehen und kommentiert, konnte doch Steinschneider[2]) nicht weniger als 23 arabische Gelehrte namhaft machen, die es bearbeiteten. Auf Veranlassung von Kaiser Friedrich I., nach anderen von Friedrich II. wurde es dann aus dem Arabischen in das Lateinische übertragen. Bis in das 15. Jahrhundert war die astronomische Wissenschaft nur auf diese Übersetzung angewiesen, dann erst brachte der spätere Kardinal

[1]) Pauly, Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaften. Bd. VI. Stuttgart 1852. S. 238.

[2]) M. Steinschneider, Die arabischen Bearbeiter des Almagest. Bibliotheca mathematica. Neue Folge. Bd. 6, 1892, S. 53.

Johannes Bessarion eine Abschrift des griechischen Originals nach Rom, die nun von Georg von Trapezunt in das Lateinische übersetzt wurde. Vom astronomischen Standpunkt war diese Übersetzung allerdings verbesserungsbedürftig und gab dem damals in Rom weilenden Regiomontan Veranlassung zu mancherlei Ausstellungen, die ihn mit deren Urheber bitter verfeindeten.

Das Almagest suchte die Bewegung des Mondes und des Planeten genauer zu erklären, als dies Hipparchos gelungen war. Die Genauigkeit der Beobachtungen war aber bereits eine so große geworden, daß die Annahme exzentrischer Kreise nicht mehr zur Erklärung ausreichte. Ptolemaios machte deshalb die Annahme, daß die Bahnen der Planeten zwar Kreise seien, daß sich deren Mittelpunkte aber wiederum auf Kreisen bewegten. Die die Planetenbahnen darstellenden Kurven führen den Namen der Epizykeln. Ließen sie sich bei fortschreitender Schärfe der Beobachtungen nicht mehr durch einen Epizykel ausdrücken, so war es nur nötig, einen weitern einzuführen, um zu dem gewünschten Ziele zu gelangen, ebenso wie man jeden Zusammenhang zweier voneinander abhängiger physikalischen Größen nach Bedürfnis genau herstellen kann, wenn man nur eine genügende Anzahl Glieder der empirischen Näherungsformel mit wachsenden Potenzen der unabhängigen Veränderlichen einführt. War auch auf diese Weise die Bewegung der Himmelskörper nicht erklärt, denn daß sie eine so überaus zusammengesetzte sein könne, daran hat man wohl nie im Ernste gedacht, so war es doch möglich, sie bis in ihre Einzelnheiten darzustellen, und so blieb des Ptolemaios Ansicht die herrschende, so lange man, wie er die Erde oder wenigstens ihre Achse als ruhend ansah, wenn man auch, wie Tycho Brahe die Bewegung der Planeten um die Sonne zugab. Ganz besondern Wert glaubt man im Altertume und bei den Arabern dem im 7. und 8. Buche des Almagests enthaltenen Verzeichnis von 1022 Fixsternen beilegen zu dürfen, Delambres Untersuchungen aber haben es wahrscheinlich gemacht, daß die darin angegebenen Positionen, die bereits von Hipparchos mitgeteilten waren, deren Längen Ptolemaios, um der in den nämlichen Büchern abgehandelten Präzession der Tag- und Nachtgleichen willen, um 2° 40′ vergrößert hatte[1]). Auch die Milchstraße führt er dort an, ohne sich jedoch über die Ursache ihres Glanzes auszusprechen, die doch Demo-

[1]) Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877, S. 194.

kritos bereits in dem Lichte einer ungeheuren Menge dem Auge als solche unsichtbarer Sterne vermutet hatte.

Ebenso wie er die Geographie des Himmels zum Gegenstand des Almagests gemacht hatte, bildete die der Erde den Inhalt eines zweiten größern Werkes, welches den Titel trägt: *Γεωγραφικὴ ὑφήγησις*, geographische Anleitung. Enthält doch dieses Werk die Längen- und Breitenbestimmung von fast 5000 Orten; aber auch die physikalische und politische Geographie führt er viel sorgfältiger durch als seine Vorgänger und benutzt zur Darstellung der Teile der Erdoberfläche bereits die stereographische Projektion. Seine geographische Anleitung behauptete bis in das 16. Jahrhundert unbestrittene Autorität.

Sehen wir von einer Reihe kleinerer Schriften ab, deren Urheberschaft überdies noch umstritten ist, so bleiben nunmehr noch seine physikalischen Schriften zu betrachten. Es sind dies seine drei Bücher über Musik und seine fünf Bücher über Optik. Das erstere Werk hat einen mehr musikalischen, als physikalischen Charakter. Es schließt sich der durch Eukleides bereits gehandhabten mathematischen Behandlung der Tonintervalle an, und wir sehen mit Interesse, daß Ptolemaios zwar das Intervall der natürlichen großen Terz 5 : 4 einführte, und als Stimmung des diatonischen Tetrachords die Intervalle 1 : 1, 10 : 9 5 : 4 und 4 : 3 angab. Als Konsonanz erkannte er aber die große Terz nicht an, die für uns unzweifelhaft eine solche ist. Es wird dies begreiflich, wenn wir bekennen, daß sein Wirken in die Periode der homophonen Musik fällt[1]).

Von größerer Bedeutung für die Geschichte der Physik sind des Alexandriners Schriften über Optik. Sie werden bereits von Damianos und Simplicius erwähnt, sicher ist auch, daß sie Roger Bacon vor sich gehabt hat[2]). Daß sie Regiomontan kannte, hält Mollweide für unwahrscheinlich, weil sie sich nicht unter den Schriften aufgeführt findet, die der Königsberger nach dem von seinem Schüler Tannstedter bekannt gemachten Verzeichnisse übersetzen wollte, doch ist es wohl möglich, da nach dem nämlichen Gewährsmann des Ptolomaios Optik oder doch Stücke derselben keineswegs selten waren. Seit dem Anfange des 17. Jahrhunderts aber war sie

---

[1]) Helmholtz, Die Lehre von den Tonempfindungen. 5. Aufl. Braunschweig 1896, S. 373 u. 432.

[2]) Mollweide, Gilberts Annalen 1812, Bd. 40, S. 461.

verschollen, und noch Montucla[1]) und Pristley[2]) hielten 1734 und 1773 sie für verloren. Da entdeckte La Place ein Manuskript des Werkes auf der Pariser Bibliothek, zu dem sich bald noch ein zweites fand, und machte auf S. 308 der zweiten Auflage seiner Exposition du Systeme du monde darauf aufmerksam. Daraufhin untersuchte es 1811 Alexander von Humboldt[3]) und durch ihn angeregt Delambre[4]), der die Ergebnisse seiner Untersuchung im Oktober desselben Jahres dem Institut de France mitteilte. Das vorliegende Manuskript ergab sich als eine Übersetzung aus der arabischen Sprache in die lateinische. Das uns nicht erhaltene griechische Original mußte also bereits früher in das Arabische übertragen worden sein. Als Übersetzer in das Lateinische nennt sich ein gewisser Ammiracus Eugenius Siculus, der nach Caussin de Perceval[5]), dem sich Narducci[6]) anschließt, mit dem Übersetzer eines Auszuges des Basilographia Eugenius regni Siciliae Amiratus dieselbe Person ist und nach Amari[7]) zur Zeit des 1154 verstorbenen Königs Roger II. lebte. Der Name des arabischen Übersetzers ist uns nicht überliefert. Nach Wildes[8]) Vermutung gehörte sein Werk zu den Übersetzungen, welche der Kalif Al Mamûn herstellen ließ und von denen später noch ausführlich die Rede sein wird. Das Manuskript der lateinischen Übersetzung läßt freilich viel zu wünschen übrig. Es hat den Anschein, als sei es nur eine verstümmelte Abschrift des Originals, auch ein nach Montucla in Oxford vorhandenes Manuskript scheint nicht vollständig zu sein. Dagegen fand 1814 Venturi[9]) in der Ambrosianischen

---

[1]) Montucla, Histoire des Mathématiques. 2. Ed. Vol. I. Paris 1799, S. 312.

[2]) Pristley, Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Optik. Deutsch von Klügel. I. Teil. Leipzig 1775, S. 11.

[3]) Humboldt, Recueil des Observations astronomiques. T. I, 1811, S. LXV ff.

[4]) Delambre, Gilberts Annalen 1812, Bd. 40, S. 374.

[5]) Caussin de Perceval, Mémoire sur l'Optique de Ptolémée. Mémoire de l'Institut de France. T. 6, 1822, S. 25.

[6]) Narducci, Sur l'optique de Claude Ptolémée. Bibliotheca mathematica. Neue Folge 2. S. 97.

[7]) Amari, Storia dei Musulmani di Sicilia. Vol. 3. Firenze 1872, S. 657 ff.

[8]) Wilde, Geschichte der Optik. Bd. I. Berlin 1838, S. 54.

[9]) Venturi, Commentario sopra la storia e la teorie dell'ottica. Vgl. Kosmos II. Stuttgart 1847, S. 437 und Brandes, Gilberts Annalen 1816, Bd. 52, S. 308.

Bibliothek in Mailand einen besseren Kodex der Übersetzung, die vor 1200 hergestellt sein muß, da Roger Baco den Ptolemaios mit den Worten dieser Übersetzung anführt. Ihn hat Govi[1]) 1885 herausgegeben. Boncompagni[2]) kennt dreizehn Manuskripte der Übersetzung, denen Govi[3]) ein vierzehntes zugefügt hat.

Aus ihr geht hervor, daß ebenso, wie Eukleides die Reflexion eingehend untersuchte, Ptolemaios die quantitativen Verhältnisse bei der Brechung festzustellen bemüht war. Er begnügte sich nämlich nicht damit, darzutun, daß der Lichtstrahl beim Eintritt in das dichtere Mittel aus seiner früheren Richtung abgelenkt wird, sondern er suchte auch die Beziehung zwischen Einfalls- und Brechungswinkel aufzudecken, wobei er aber unter Brechungswinkel die Ablenkung des gebrochenen Strahles von der Richtung des einfallenden verstand. Dazu baute er sich ein besonderes Instrument, einen in 360° geteilten Kreis, auf dem zwei um seinen Mittelpunkt drehbare Lineale bewegt werden konnten. Um die Brechung aus Luft in Wasser zu untersuchen, tauchte er diesen Kreis bis zur Mitte in das Wasser, so daß seine Ebene senkrecht stand. Darauf gab er dem unteren Lineal eine beliebige Stellung und rückte das obere so, daß die Öffnungen beider Lineale und die durch einen farbigen Stift gebildete Mitte des Kreises in einer geraden Linie erschienen, nahm dann die Scheibe aus dem Wasser und las die Stellung der Lineale ab. In ähnlicher Weise verfuhr er dann zur Bestimmung der Brechung aus Luft in Glas und aus Wasser in Glas und stellte die Versuchsergebnisse, die er von 10° zu 10° fortschreitend von 10° bis 80° bestimmte, in Tabellen zusammen[4]). Sie lassen erkennen, daß die Versuche mit großer Sorgfalt angestellt sind, wie die folgende für die Brechung aus Luft in Wasser und Luft in Glas geltende Tabelle zeigt. Die erste Spalte gibt den Einfallswinkel α, die zweite und fünfte geben den Brechungswinkel β in dem jetzt gebräuchlichen Sinne für Wasser und β für Glas, die dritte und sechste das Verhältnis beider, die vierte und siebente endlich das Verhältnis ihrer Sinus.

---

[1]) Govi, L'ottica di Claudio Tolomeo da Eugenio Ammiraglio di Sicilia, Torino 1888.

[2]) Boncompagni, Intorno ad una traduzione latina dell'ottica di Tolomeo. Bulletta di bibliogr. di scienc. matemiche e fisiche 1871. Bd. IV, S. 470 ff.; 1873, Bd. VI, S. 159 ff. — [3]) Govi a. a. O., Introduction.

[4]) Delambre, Gilberts Annalen 1812, Bd. 40, S. 385. — Wilde, Geschichte der Optik. Berlin 1838, S. 80.

α °	β °	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n$	β_1 °	$\frac{\alpha}{\beta_1}$	$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta_1} = n_1$
10	8	1,25	1,248	7	1,43	1,425
20	15 1/2	1,29	1,270	13 1/2	1,48	1,465
30	22 1/2	1,33	1,308	20 1/2	1,46	1,428
40	28	1,43	1,369	25	1,60	1,521
50	35	1,43	1,336	30	1,67	1,532
60	40 1/2	1,48	1,333	34 1/2	1,74	1,529
70	45 1/2	1,55	1,329	38 1/2	1,82	1,509
80	50	1,60	1,286	42	1,91	1,472

Als Mittel der Werte $\frac{\alpha}{\beta}$ ergibt sich 1,42 mit einem mittleren Fehler von 0,044, als Mittel der Werte von $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$ dagegen 1,311 mit einem mittleren Fehler von 0,043. Ebenso für $\frac{\alpha}{\beta_1}$ und für $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta_1}$ 1,64 und 1,484 mit den mittleren Fehlern von 0,060 und 0,015. Die Rubriken für n und n_1 geben einen Maßstab für die erreichte Genauigkeit, die beiden für $\frac{\alpha}{\beta}$ und $\frac{\alpha}{\beta_1}$ lassen erkennen, wie ungeübt Ptolemaios noch in der Beurteilung der Versuchsergebnisse war. Entging ihm doch, daß die Werte, welche er für gleich hielt, fortwährend wachsen. Es ist von großem Interesse, diese Zahlen zu vergleichen, sind diese doch die einzigen messenden des Altertums, vielleicht die ersten, die angestellt worden sind. Mit ihnen beginnt der Alexandriner die Reihe der experimentierenden Forscher auf physikalischem Gebiet, die ihm zunächst folgenden, die allerdings durch Jahrhunderte von ihm getrennt sind, nahmen dieselbe Aufgabe in Angriff. Aber erst nach mehr als einem Jahrtausend gelang ihre Lösung. Die Brechung durch kugelförmige durchsichtige Körper bespricht Ptolemaios in den uns erhaltenen Schriften nicht.

Aus der Tatsache der Brechung erklärt er sodann die von ihm gemachte Beobachtung, daß alle Sterne beim Auf- und beim Untergange dem Nordpol näher stehen, als wenn sie sich in der Mittagsebene befinden. Er sieht den Grund der merkwürdigen Erscheinung in der Brechung des Lichtes, die die verschiedene Dichtigkeit des Äthers und der Luft bewirkt und macht darauf aufmerksam, daß der scheinbare und der wahre Ort eines Sternes nur dann zusammenfallen, wenn der Stern im Zenit steht. So begegnet uns hier zum ersten Male das Problem

der astronomischen Strahlenbrechung; ob aber Ptolemaios der erste ist, der sie beobachtete und auf ihren wahren Grund zurückführte, bedarf einer näheren Untersuchung, denn wir finden sie auch bei zwei anderen Schriftstellern des Altertums, bei Kleomedes und Sextus Empiricus, und es ist also zunächst die Frage nach der Zeit, in der beide lebten, in das Auge zu fassen. Kleomedes' Beschreibung der Erscheinung findet sich in seinem κυκλικὴ θεωρία μετεώρων betitelten Werke, einer Darstellung des Welt- und Himmelsystems nach stoischer Lehre, die sich vielfach bis zur wörtlichen Übereinstimmung an Poseidonios anschließt. Er macht darauf aufmerksam, daß die noch unter dem Horizonte befindliche Sonne ebenso durch Vermittlung der Dünste sichtbar werden kann, wie ein Ring, der am Boden eines Bechers liegt, einem Auge, das ihn bis dahin nicht sehen konnte, sichtbar wird durch Vermittlung von Wasser, welches man in den Becher gießt. Daß damit die astronomische Strahlenbrechung treffend geschildert ist, unterliegt keinem Zweifel, weniger einfach ist die Frage zu entscheiden, wer früher gelebt hat, Kleomedes oder Ptolemaios. Da in des letzteren Schriften der erstere nicht erwähnt wird, so haben eine Reihe Forscher diesen als den ältern ansehen zu müssen geglaubt. Delambre[1]), Laplace[2]), Montucla[3]) u. a. sehen in ihm einen Zeitgenossen des Kaisers Augustus, Heller[4]) und Rosenberger[5]) setzen ihn in das Jahr 50 n. Chr., und auch Wilde[6]) hält ihn für älter als den Alexandriner. Dagegen glauben ihn Letronne[7]) und Bähr[8]) in das 4. Jahrhundert n. Chr. setzen zu müssen. So lange also nicht entschieden ist, wer der ältere von beiden ist, wird auch nicht auszumachen sein, wer der erste die astronomische Strahlenbrechung beobachtet hat. Hinsichtlich der Ansprüche des Sextus Empiricus liegt die Sache einfacher. Sie müssen zurückgewiesen werden, da es feststeht, daß er jünger als Ptolemaios ist.

---

[1]) Gilberts Annalen 1812, Bd. 40, S. 377.

[2]) Pauly, Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaft. I. Bd. Stuttgart 1842, S. 439.

[3]) Montucla, Histoire des Mathématiques. Paris 1734, Bd. I, S. 279.

[4]) Heller, Geschichte der Physik. Bd. I. Stuttgart 1882, S. 150.

[5]) Rosenberger, Geschichte der Physik. Bd. I. Braunschweig 1882, S. 44.

[6]) Wilde, Geschichte der Optik. Bd. I. Berlin 1838, S. 59.

[7]) Letronne, Journal des Savants 1821, S. 713.

[8]) Pauly a. a. O. S. 439.

Die Lehre vom Sehen hat der Alexandriner nicht unerheblich bereichert, indem er das Zusammenwirken beider Augen berücksichtigte. Zwar nimmt er mit Eukleides an, daß vom Auge Sehstrahlen zu dem erblickten Gegenstand ausgehen und meint, daß der Widerstand, den unser Auge empfindet, ihm die Idee von Körpern gebe. Die Länge der Strahlen und damit die Entfernung des Gegenstandes erkennt das Auge, wenn die Sehstrahlen nicht durch allzu große Entfernung geschwächt werden. Sie sind mit Feuchtigkeit beladen; je nachdem diese sich rascher oder langsamer zerstreut, sobald der Sehstrahl das Auge verlassen hat, sieht das Auge gut in geringerer und größerer Entfernung. Da dies nun von der Beschaffenheit des Auges abhängt, so ist die Fähigkeit der Menschen in dieser Hinsicht eine verschiedene. Aber auch insofern ist das der Fall, als die, welche hohle Augen haben, mehr in die Ferne sehen als die, deren Augen hervorstehen, weil bei jenen die Sehkraft mehr zusammengehalten wird. Alte Leute aber sehen besser in die Ferne als in die Nähe, weil sie viel zufällige Feuchtigkeit im Auge haben, welche die Sehkraft aufhält, während die dem Auge zukommende Feuchtigkeit die Sehkraft frei macht. Die vom Auge ausgehenden Strahlen bilden nun eine Pyramide, nicht, wie Eukleides annahm, einen Kegel, und ein Gegenstand wird einfach gesehen, wenn die Achsen beider Gesichtspyramiden auf denselben Gegenstand fallen, wie dies die Gewohnheit des gesunden Auges bedingt. Jedes Abweichen von dieser Gewohnheit aber läßt es den Gegenstand doppelt sehen. Ptolemaios verfügt demnach bereits über ein ziemlich reichhaltiges Beobachtungsmaterial, dessen Deutung freilich noch wenig fortgeschritten erscheint.

Dieselbe Bemerkung drängt sich bei Betrachtung seiner Farbenlehre auf. Die Farbe wird als Eigenschaft des Körpers angenommen. Verschiedene Farben aber können als eine einzige erscheinen, wenn sie, aus großer Entfernung gesehen, zusammengedrängt werden oder wenn, wie bei der schnellen Bewegung des Farbenkreisels, derselbe Sehstrahl nicht auf einer und derselben Farbe verweilt, da sie sich ihm durch die schnelle Bewegung entzieht[1]). Aber auch die Farbe des Himmels sucht er zu erklären. „Die Luft, in der wir uns befinden," sagt er[2]), „ist stärker gefärbt als die obere Luft, wegen der Ausdünstungen, die von der Erde aufsteigen; das Licht geht leichter durch sie hindurch als durch

---

[1]) Mollweide, Gilberts Annalen 1812, Bd. 40, S. 466.

[2]) Delambre, Gilberts Annalen 1812, Bd. 40, S. 379.

Wasser, unser Sehen dringt leichter durch sie hindurch. Daher kommt es, daß wir den Himmel in einer Farbe zu sehen glauben, die ihm mit den Ausdünstungen gemein ist." Dem Monde schreibt er eine eigentümliche Farbe zu, die aber nur bei Mondfinsternissen gesehen werden könne. Endlich sucht er auch wohl als der erste die Beobachtung zu erklären, daß Mond, Sonne und Sternbilder in der Nähe des Horizontes größer erscheinen als bei höherem Stande. „Aus dem Vorhergehenden scheint zu folgen," meint er[1]), „daß von Gegenständen, die am Himmel sind und unter einerlei Winkeln gesehen werden, die dem Zenith näher stehenden kleiner erscheinen müssen. Die nahe am Horizont erscheinen anders (d. h. größer), weil man sie auf eine Art sieht, an die wir nicht gewöhnt sind. Die höheren Gegenstände werden auf eine wenig gewöhnliche Art und mit Schwierigkeit der Aktion gesehen." Das Almagest macht hier freilich die Dünste in der Nähe des Horizontes für die Erscheinung verantwortlich; diese letztere Erklärung findet sich indessen bereits bei Strabo[2]), der sie als die Ansicht des Poseidonios anführt. Sind wir demnach auch nicht immer imstande, die von Ptolemaios gegebenen Erklärungen als solche anzuerkennen, so kommt doch seiner Optik das Verdienst zu, auch eine große Menge von Erscheinungen, an deren Mehrzahl man bis dahin achtlos vorübergegangen war, als einer physikalischen Erklärung bedürftig aufmerksam gemacht und eine solche, soweit es der Standpunkt seinerzeit erlaubte, versucht zu haben.

Aus dem 4. Jahrhundert n. Chr. stammt ein weiteres, hier noch zu erwähnendes optisches Werk, welches sich an Heron und Ptolemaios anschließt, von jenem die geradlinige und bis zu den größten Entfernungen augenblicklich erfolgende Ausbreitung des Lichtes, von diesem die Sätze über das Sehen entlehnend und dahin erweiternd, daß das Licht vom Auge in Form eines Kegels ausgehen muß, weil dieses eine runde Oberfläche und Glanz zeigt, es auch Menschen gebe, die bei Nacht sehen können und die Augen nächtlicher Tiere wie Feuer leuchten. Damit wir soviel wie möglich sehen können, muß ferner das Licht in einem Kreise auf die Gegenstände fallen, da dieser bei gleichem Umfang den größten Inhalt aufweist. So fügt dies Werk den früheren kaum Neues hinzu, sein Verfasser aber ist unsicher. Es findet sich unter dem Titel *Δαμιανοῦ τοῦ Ἡλιοδώρου Λαρισσαίου κεφάλαια τῶν ὀπ-*

[1]) Delambre, ebenda S. 380.

[2]) Almagest, Lib. I, cap. 3. — Strabo, Lib. III, Cap. 1. Vgl. Wilde, Geschichte der Optik. 1. Bd. Berlin 1838, S. 57.

τικῶν ὑποθεσέων und außerdem unter demselben Titel, aber ohne das Wort Damianou und um ein Kapitel verkürzt. „Wenn," sagt Hultsch[1]) in Betreff der Bestimmung des Verfassers, „diese Überlieferung zuverlässig und nicht etwa der letztere Titel durch eine irrtümliche Abkürzung aus dem ersteren entstanden ist, so ist zu schließen, daß Heliodoros von Larissa eine Einführung in die Optik in 13 Abschnitten verfaßt und dann sein Sohn oder Schüler Damianos eine Neuausgabe desselben Werkes veranstaltet und diese um ein Kapitel vermehrt hat, welches, wie es scheint, Auszüge aus Herons Katoptrik enthält."

Hat demnach Damianos oder Heliodoros Selbständiges in der Physik nicht mehr geleistet, so gilt das nämliche von den Alexandrinern, die nach ihm kamen. Sie haben wohl den mathematischen Lehren noch einiges zugefügt, wie Pappos, dessen Lebenszeit an das Ende des dritten nachchristlichen Jahrhunderts zu setzen ist[2]), den Satz, der unter dem Namen der Guldinschen Regel bekannt geworden ist, auf physikalischem Gebiet beschränkten sie sich auf Wiederholung und Kommentierung dessen, was ihre großen Vorgänger geleistet haben. Dessenungeachtet haben sie für die geschichtliche Betrachtung eine nicht zu unterschätzende Bedeutung, einmal indem sie, wie der eben erwähnte Pappos, die Arbeiten ihrer Vorgänge zu einem systematischen Lehrgebäude ordneten, so daß dessen Theorie der sieben einfachen Maschinen, nämlich Hebel, Rolle, Wellrad, Flaschenzug, schiefe Ebene, Schraube und Keil von den Späteren kaum noch etwas zuzusetzen war[3]), und sodann lassen sich aus ihren Schriften Entscheidungen über das erste Auftreten mancher Apparate herleiten. Dies gilt beispielsweise von der Hypatia, der Tochter des Mathematikers Theon, die ihr Vater zu einer tüchtigen Kennerin der Mathematik herangebildet hatte. Er selbst lehrte in Alexandrien und hat mancherlei Kommentare hinterlassen, die, wie es scheint, die von Pappos bearbeiteten recht ausgiebig, freilich der Sitte seiner Zeit gemäß ohne Quellenangabe benutzen, Hypatia aber lehrte an der Seite ihres Vaters, nachdem sie ihre Studien in Athen beendet hatte. Sie stand im brieflichen Verkehr mit ihrem Schüler Synesios, der zum Christentum übertrat und 410 n. Chr. Bischof

[1]) Hultsch in Paulys Enzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaften. Neue Bearbeitung herausg. von Wissowa. 4. Bd. Stuttgart 1901, S. 2050.

[2]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. Bd. V. Leipzig 1880, S. 374.

[3]) Hultsch, Collectiones etc. Bd. III. Berlin 1878.

von Ptolemais wurde. Hypatia blieb Heidin und wurde, wie Suidas berichtet, 415 in einem vom Bischof Kyrillos gegen sie erregten Aufstand des christlichen Pöbels in grausamer Weise getötet[1]). Wichtig für unsere Schilderung ist ein Brief des Synesios an seine Lehrerin deshalb, weil er die erste Erwähnung des Volumenaräometers enthält. Wie wir sahen, war noch zu Zeiten des Galenos, also bis gegen Ende des dritten Jahrhunderts, der Begriff des spezifischen Gewichtes nicht aufgestellt. In seinem Briefe aber beschreibt der Bischof von Ptolemais das Baryllion, ein Instrument, welches den Zweck hat, das spezifische Gewicht des Trinkwassers festzustellen. Folgendes ist der Wortlaut des Briefes[2]): „So ganz übel befinde ich mich, daß ich ein Hydroskopium nötig habe. Gib den Auftrag, daß es hergestellt und angekauft werde. Die Röhre ist zylindrisch und hat die Gestalt und Größe einer Flöte. Sie enthält auf einer geraden Linie die Einschnitte, mit der wir das Gewicht des Wassers prüfen. Als Deckel verschließt sie ein in horizontaler Lage befindlicher Zapfen, so daß die Grundfläche beider, des Zapfens und der Röhre, die nämliche ist. Das nun ist das Instrument zur Messung der Schwere. Jedesmal, wenn du die Röhre in Wasser hinabläßsest, wird sie aufrecht stehen und wird dich die Einschnitte zählen lassen. Diese aber sind die Erkennungszeichen des Gewichtes." Das Baryllion soll also dazu dienen, ein Trinkwasser aufzusuchen, welches der Gesundheit zuträglich ist, man wendete also damals bereits ein Verfahren an, welches nach Desaguilliers[3]) Zeugnis noch im 18. Jahrhundert in Anwendung stand. Als ungesundes Wasser aber wurde hartes, als gesundes weiches, also ein fast reines Wasser angesehen. Somit hatte das Baryllion den Zweck, das Volumen des ersteren zu bestimmen, welches an Gewicht einem bekannten Volumen des letzteren gleich war. Noch ist dabei vom Begriffe des spezifischen Gewichtes nicht die Rede, aber dem Apparate liegt er offenbar bereits zugrunde und somit gibt der obige Brief den Weg an, auf welchem man zu einer Aufstellung gelangte. Die vielfach gemachte Annahme aber,

[1]) Pauly, Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaften. Bd. III. Stuttgart 1854, S. 1546.

[2]) Joh. Christ. Wolfius, Mulierum Graecarum Fragmenta et Elogia. Göttingen 1739, S. 74. Vgl. auch Epistolographi graeci. Rec. Hercher. Paris 1873. Gerland, Wiedemanns Annalen 1877, Bd. I, S. 150, und Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 58.

[3]) Vgl. Journal des Scavans VII, 1679. Amsterdam 1680, S. 89.

daß bereits von Rhemnius Fannius Palämon, einem Zeitgenossen des Kaisers Tiberius, der Begriff des spezifischen Gewichtes angewendet sei, ist hinfällig geworden, seit es durch Hultsch[1]) in hohem Maße wahrscheinlich gemacht worden ist, daß das ihm zugeschriebene Gedicht: de Ponderibus et mensuris nicht von ihm herrührt, sondern aus dem 4. oder dem Anfange des 5. Jahrhunderts stammt, sein Verfasser aber unbekannt ist. Daß Synesios in der Tat das Aräometer meinte und nicht, wie Petav, der 1640 dessen Schriften herausgab, annehmen zu müssen glaubte, den Chorobates des Heron, trotzdem schon 70 Jahre früher Constantin den Apparat in dem von uns angenommenen Sinne gedeutet hatte, ist schon von Fermat so überzeugend dargelegt worden, daß Petav seine Ansicht aufgab. Die bezügliche Äußerung Fermats ist in der von Benedetto Castelli verfaßten Vorrede zu seinen Varia opera mathematica (Tolosae 1679) zu finden. Mit ihr machte der Erzbischof von Toulouse Monchal Petav bekannt, und dieser wollte sie im zweiten Drucke seines Werkes in einer Note mitteilen. Da es aber dazu nicht kam, so sorgte in der erwähnten Weise Castelli für die geeignete Mitteilung.

Mit dem Ende des 5. Jahrhunderts hört Alexandrien auf, eine Hochburg der Wissenschaft zu sein. War doch diese heidnisch gewesen, und das war Grund genug für das sich immer mehr ausbreitende Christentum, sich zu ihr in Gegensatz zu stellen. Dazu kam, daß die neue Religion sich in erster Linie an die große Masse wendete und ihr den Inhalt und die Stütze gab, an die sie sich in den Bedrängnissen, die das zerfallende Römerreich nicht mehr beschwören konnte, anzulehnen vermochte. Aber schlimmer war es, daß der fanatische Haß auch auf die hinterlassenen Schriften der alten Philosophen sich übertrug. In großer Zahl waren die kostbarsten Handschriften von den Königen aus dem Hause des Ptolemaios gesammelt worden. Sie wurden im Brucheion, einem Gebäude in der Nähe des Hafens aufbewahrt, und es war ein großer Verlust für die Wissenschaft, daß sie bei der Eroberung der Hauptstadt Ägyptens durch Julius Cäsar im Jahre 47, der sie damals verwüstenden Feuersbrunst zum Opfer fielen. Aber dieser Verlust war nicht unersetzlich, König Attalus III. von Pergamon hatte es den Ptolemäern an Sammeleifer gleich getan und in seiner Hauptstadt eine

[1]) Hultsch, Metrologicorum scriptorum Reliquiae. Scriptores Romani. Bd. II, Lipsiae 1866, § 118, S. 26.

reiche Bibliothek zusammengebracht, wobei freilich eine Reihe Fälschungen vorkamen, die die spätere Forschung nicht wenig erschwert hat. Denn die Bibliothek, die er bei seinem Tode im Jahre 133 v. Chr. dem römischen Senat vermacht hatte, schenkte Antonius der Kleopatra, und diese vereinigte sie mit der Sammlung von Handschriften, die in dem Serapaion genannten Gebäude in der Nähe des Serapistempels aufgestellt worden waren, als das Brucheion für die unterzubringenden Schätze nicht mehr ausreichte. Dort blieben sie bis zum Anfange des 5. Jahrhunderts, zu welcher Zeit sie bei den durch die Christen angezettelten Unruhen, denen, wie wir sahen, Hypatia zum Opfer fiel, vernichtet wurden. Fanatische Mönche legten Feuer an die Bibliothek, ihr Inhalt wurde gänzlich zerstört, und diese Katastrophe wurde Schuld, daß es in späterer Zeit kaum noch Handschriften gab. So fand der Feldherr des Kalifen Omar Amru, als er 200 Jahre später Alexandrien eroberte, von jenen alten Schätzen wohl kaum noch etwas vor, und es ist eine Verleumdung, wenn erzählt wurde, daß Omar die alexandrinische Bibliothek zerstört und eigenhändig Stücke von deren kostbarem Inhalt in das Feuer geworfen habe, um sich bei ihrem Brande zu wärmen. Was übrig blieb, kam nach Byzantium oder blieb in den Händen der Araber. Sowohl dort wie hier übte es seine belebende Wirkung aus, wie im folgenden Abschnitt betrachtet werden soll.

II. Die Physik im Mittelalter.

1. Die Physik bis zur Mitte des 13. Jahrhunderts.

a) Die Atomenlehre, die Ärzte und die Chemiker.

Mit Hypatia war der letzte heidnische Repräsentant der Philosophie vom Schauplatz abgetreten. Die Beschäftigung mit ihr aber hörte deshalb nicht auf, aber an die Stelle der Heiden traten nun die Christen. So kam es, daß auch in der Folgezeit die auf philosophische Erwägungen gegründete und deshalb aber wenige brauchbare Ergebnisse zeitigende Dynamik immer wieder behandelt wurde, während die auf sicheren Versuchsresultaten gegründete Statik nur wenig beachtet wurde[1]). Auch der Aufenthaltsort der Philosophie Studierenden blieb zunächst

---

[1]) Vgl. Haas, Die Grundlagen der antiken Dynamik. Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik. Leipzig 1908, Bd. I, S. 43.

das nämliche Alexandria, das der Tochter Theons das grausame Ende bereitet hatte, nur war der Zweck, den die Kirchenväter, denn diesen fiel das Erbe der Griechen zunächst zu, bei der Verwaltung dieses kostbaren Gutes verfolgten, ein anderer geworden wie früher. Dort hatten freilich schon längst Christen und Heiden nebeneinander gelebt, ob in Frieden oder in Feindschaft, das hatte von den betreffenden Persönlichkeiten abgehangen. War doch jener Synesios, den freundschaftliche Beziehungen mit Hypatia verbanden, selbst erst zum Christentum übergetreten und von dem hochkirchlichen Eiferer Theophilus von Alexandria zum Bischof von Ptolemais geweiht worden, obwohl er sich zur neuplatonischen Lehre bekannte und kein Hehl daraus machte, daß er an manche der christlichen Lehren, z. B. an die Auferstehung des Fleisches nicht glauben könne. So konnten auch die Gnostiker, deren Lehre Clemens und sein Schüler Origines, im 3. nachchristlichen Jahrhundert aufgestellt hatten, trotz ihrer „Energie des eigentümlich christlichen Bewußtseins"[1]), den Anschluß an die allerdings mit jüdischen Elementen vermischte alexandrinische Philosophie nicht leugnen, wie denn auch einige von ihnen die Menschen in Hyliker, Psychiker und Pneumatiker teilen wollten. Die Gnostiker selbst rechneten sich zu den letzteren und wollten alles Göttliche und Geistige auf die gnostische Erkenntnis beschränkt wissen und wandten sich demgemäß von allem Irdischen ab, so daß sie die Urheber der Askese in jener ersten Zeit des Christentums wurden. Aber gerade diese spekulative Richtung der Gnosis fand in der abendländischen Kirche nur wenig Anklang. Hier, im Gebiet des römischen Geistes, war das Interesse für die philosophischen Bestrebungen ein nur geringes und schwand bald so sehr, daß die gnostische Richtung für eine häretische erklärt wurde.

Namentlich war es die Atomistik, die von den Kirchenlehrern als eine zu keinem Ziel führende Lehre dargestellt wurde, die das menschliche Denken nicht bewältigen könne, für das Seelenheil aber eine große Gefahr in sich schließe. So hat sich bereits der Schüler des Origenes, der durch die Wissenschaft zum Christentum bekehrte 264 oder 265 als Bischof von Alexandrien gestorbene Dionysius Alexandrinus, der Große, wie ihn die Nachwelt nannte, gegen die Atomistik erklärt, wenn er auch nicht einmal versuchte[2]), sie vom physikalischen Standpunkt

---

[1]) Zeller, Vorträge und Abhandlungen geschichtlichen Inhalts. Leipzig 1865, S. 332.

[2]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Bd. I. Hamburg und Leipzig 1890, S. 18.

zurückzuweisen. Gleichwohl hielt der 340 als Bischof von Cäsarea verstorbene Eusebius seine Schrift: Περὶ φύσεως, in der er sich gegen die Atomenlehre erklärt, für so bedeutsam, daß er sie in seine Praeparatio evangelica aufnahm[1]). Mit derselben Schärfe wie Dionysius wendet sich auch der zu Firmium im Picentiner Gebiet geborene Lucius Cölius Lactantius, der, in späteren Jahren zum Christentum übergetreten, hochbetagt um 330 in Trier starb, gegen die Atomistik. Er versucht wohl deren Unzulänglichkeiten und Widersprüche nachzuweisen, da es ihm aber an dem Verständnis der der Atomistik zugrunde liegenden Begriffe fehlt, er sich außerdem in den Begriff einer mechanischen Naturerklärung nicht hineindenken kann, so sind seine Einwände schwach genug und kommen lediglich darauf hinaus, daß die Zweckmäßigkeit der Welt nur aus der Weisheit des Schöpfers zu erklären ist[2]). Gründlicher geht Augustinus zu Werke, der 430 als Bischof von Hippo (Bona) in Nordafrika starb. Denn er gibt zwar zu, daß der Atomistik der Vorwurf der Inkonsequenz nicht zu machen ist, aber er bestreitet die Möglichkeit der Atome, da es unmöglich sei, sie sich vorzustellen oder gar wahrzunehmen. Freilich scheint es auch ihm vom christlichen Standpunkte aus unnötig, die Atomenlehre zu widerlegen, aber er will sich nicht versagen, darzutun, daß ihm dies ein leichtes sei[3]).

Die Stärke der Lehren der genannten Kirchenväter lag in ihrer Überzeugung von dem göttlichen Ursprunge des Christentums. Dafür glaubten sie die Physik am ersten entbehren zu können, und es ist nicht zufällig, daß sie unter den sieben freien Künsten fehlt, deren Studium im Mittelalter als zur Bildung führend angesehen wurde. So waren es denn in dieser früheren Zeit, aber auch noch später, die Ärzte, die sich mit der Naturwissenschaft beschäftigten, und Laßwitz[4]) macht mit Recht darauf aufmerksam, daß lange Zeit der Name Physikus nichts anderes als Arzt bedeutete, und wir brauchen nur daran zu erinnern, daß für die vom Staate als Aufsichtsbeamten angestellten Mediziner auch jetzt noch die Bezeichnung Physikus die übliche ist.

Für die Ärzte war aber die Erkenntnis der chemischen Tatsachen weitaus wichtiger als die der eigentlich physikalischen. Solche sehen wir denn auch in den ersten nachchristlichen Jahrhunderten, in denen die kirchlichen Schriftsteller die Atomistik bekämpften, immer mehr sich

---

[1]) Laßwitz, ebenda S. 18. — [2]) Laßwitz, ebenda 24.
[3]) Laßwitz, ebenda 29. — [4]) Laßwitz, ebenda 11.

ausbreiten, die chemischen Methoden sich einbürgern. Die Chemie der damaligen Zeit aber hatte bereits eine starke Neigung zur Alchemie. Immerhin stammt die erste wirklich beglaubigte Schrift alchemistischen Inhaltes aus der Feder jenes Bischofs von Ptolemais, des Synesios, dessen oben mitgeteilter Brief an Hypatia aber auch beweist, daß er über medizinische Kenntnisse verfügte. Die erwähnte Schrift ist der Kommentar zu einem Werk, welches unter dem Titel *φυσικὰ καὶ μυστικά* dem Demokrit zugeschrieben wurde und als älteste alchemistische Arbeit angesehen werden muß[1]). Der Verfasser dieser Schrift ist aber der Abderite sicher nicht. Er ist eine ebenso mythische Persönlichkeit, wie jener Hermes Trismegistos, den die Alchemisten für den Schöpfer ihrer Lehre ansahen und den Tertullian den magister omnium physicorum nennt[2]), womit in erster Linie wohl wiederum die Ärzte gemeint sind.

Die ärztliche Kunst hat bis zum heutigen Tag in dem Aberglauben einen Gegner, über den sie schwerlich einen endgültigen Sieg wird erringen können. Wurzelt er doch in uralten, meist heidnischen Gebräuchen, deren zähes Festhalten wohl mehr als alles andere für die Länge der Zeiträume spricht, welche der Einführung des Christentums im Leben der Völker oder, wenn man lieber will, der Menschheit vorausgingen. Die älteste Heilkunde bestand nur aus solchen, mythische Vorstellungen schrieben Tieren und namentlich Pflanzen heilsame und schädliche Wirkungen zu, und an diese, die auf Götter oder Heroen zurückgeführt wurden, erinnern noch viele der ihnen beigelegten lateinischen Bezeichnungen. Sie knüpfen an die alten Benennungen an, und wurden früher hoch geschätzt, während sie die neuere Pharmakopöe als obsolet bezeichnet. Man erinnere sich der Achillea, der Centaurea, des Heracleums, der Asclepias, des Cymanchum, um aus Hunderten nur einige zu nennen. Nur langsam rangen unabhängige Geister sich von den Fesseln der Überlieferung los, und zwar besonders die in Kos ansässige Familie des Hippokrates, die ihre Abstammung väterlicherseits von Asklepios und mütterlicherseits von Herakles herleitete. Diesem Umstand und dem Zutrauen, das man in die in ihnen fortlebende Überlieferung setzte, verdankte sie ihren Ruf bei der Mitwelt, bei der Nachwelt hat namentlich Hippokrates II den höheren erworben, indem er

---

[1]) Kopp, Geschichte der Chemie. Bd. II. Braunschweig 1844, S. 149.

[2]) Kopp, ebenda, Bd. II, S. 145.

nicht bei der ererbten Materia medica stehen blieb, sondern Erfahrungen sammelte und aus diesen allgemeine Resultate zu ziehen versuchte, wie uns Galenos[1]) versichert.

Auf dieser so geschaffenen empirischen Grundlage bauten die Ärzte der Folgezeit fort; von ihnen haben für uns Dioskorides und Galenos deshalb besondere Bedeutung, weil sie das Wissen ihrer Zeit gesammelt und in vielen Schriften festgelegt haben. Der erstere war in Anarbazus bei Tarsus geboren und hatte Gelegenheit, auf den ausgedehnten Reisen, die er als Feldarzt unter Kaiser Claudius machte, reiche Kenntnisse auf dem Gebiete der Medizin zu erwerben, die er in seinen fünf Büchern περὶ ὕλης ἰατρικῆς, oder de medicinali materia niederlegte. Darin beschreibt er eine Art der Destillation und gibt Anleitung für einfache chemische Prozesse, wie die Gewinnung des Quecksilbers aus Zinnober, das Rösten des rohen Spießglanzes u. dgl. Dort findet sich die Schilderung der ersten Reaktion auf nassem Wege, welche die Erkennung des als Verfälschung des Grünspans benutzten Eisenvitriols durch Galläpfelsaft zum Gegenstand hatte. Auch chemische Präparate waren ihm bekannt, und wir müssen annehmen, daß er auch mit chemischen Apparaten umzugehen wußte[2]). Als Schriftsteller viel fruchtbarer war Claudius Galenos, der 131 n. Chr. in Pergamum geboren wurde und um das Jahr 200 nach vielen Reisen und langjährigem Aufenthalt in Rom starb. Nach seinen Mitteilungen hielt man sich, um Krankheiten zu heilen, an die vier Elemente des Aristoteles, aus deren Mischung sich Gesundheit und Krankheit ergab; letztere hatte ihren Grund in dem Überschusse eines von ihnen und mußte durch Heilmittel bekämpft werden, welche das Entgegengesetzte verstärkten. So roh diese Methode war, so ist sie durch das ganze Mittelalter verwendet worden. Man machte es eben so gut, wie man es verstand. Aber auch eine Reihe von Mitteilungen verdanken wir dem Pergamener über Gegenstände des häuslichen Gebrauches, die man vielfach für jünger gehalten hat, als sie sind. So erzählt er uns, um nur eines zu erwähnen, daß man zu seiner Zeit Seife aus Talg, Holzasche und Ätzkalk bereitete. Aber nicht die Römer pflegten diese Industrie,

---

[1]) Galenos, Comment. 3 in libr. de articul. S. 616. Vgl. Sprengel, Versuch einer pragmatischen Geschichte der Arzneikunde. 1. T. 2. Aufl, Halle 1800, S. 383.

[2]) Kopp, Geschichte der Chemie. Bd. I. Braunschweig 1843, S. 35; Bd. II, 1844, S. 51.

sondern die Gallier und Germanen waren es, von denen jene eine weniger gute Natronseife aus der Asche von Seegewächsen, diese eine bessere Kaliseife aus der Asche von Landpflanzen darstellten[1]). Technologische und metallurgische Prozesse waren bereits viel früher bekannt, wie wir aus dem Reisewerk des aus Amasia in Kappadozien stammenden Griechen Strabon wissen. Damals benutzte man schon Kalk und Alkalien zu verschiedenen Zwecken, konnte Gold von Silber scheiden, das letztere durch Zusammenschmelzen mit Blei reinigen. Es mögen die Erfahrungen vieler Generationen gewesen sein, die zu den angeführten Kenntnissen führten, rascherer Fortschritt war der Chemie erst seit Synesios möglich, welcher die von Dioskorides beschriebene Operation des Destillierens wesentlich verbesserte und so der Forschung neue Wege eröffnete. Neben ihm ist der aus Panopolis in der ägyptischen Thebaïs stammende Zosimos zu erwähnen, der jünger als der Bischof von Ptolemais gewesen zu sein scheint, da ihn dieser in seinen Schriften nicht erwähnt[2]). Seine Lebenszeit ist also in die erste Hälfte des 5. Jahrhunderts zu setzen. Nach Zosimos' Beschreibung bestand der Destillierapparat aus einem aus Ton gefertigten Kolben, auf den ein unten offener Glasballon aufgekittet wurde. In eine oder mehrere Durchbohrungen seiner Wände waren Ton- oder Metallröhren eingesetzt, welche schief nach unten gingen und mit gläsernen Vorlagen versehen wurden[3]). In der Folgezeit wurden diese Arbeiten von den Arabern fortgesetzt. Ehe wir sie weiter verfolgen, müssen wir über die in das eigentliche physikalische Gebiet schlagenden Arbeiten berichten, die sich der Zeit nach an die eben betrachteten anschließen.

b) Die Ausleger der griechischen Philosophen bis zum Auftreten der Scholastik.

α) Boethius, Cassiodorus und die Neuplatoniker.

Es sind keine originalen Geister, über die wir nunmehr zu berichten haben, aber mehrere unter ihnen dürfen den Anspruch erheben,

---

[1]) Kopp, Geschichte der Chemie. Bd. IV, 1847, S. 383.

[2]) Kopp, ebenda, Bd. II, 1844, S. 153.

[3]) Höfer, Histoire de la Chimie. Paris 1866, S. 263. Abbildung und Beschreibung danach in Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 9. S. auch Kopp, Beiträge zur Geschichte der Chemie. Braunschweig 1869, S. 227.

der Wissenschaft wesentliche Dienste geleistet zu haben. Und ihre Tätigkeit ist ihnen um so höher anzurechnen, als ihr Leben in jene unruhigen Zeiten fällt, die in Europa die fortwährenden Züge germanischer Völkerschaften, in Nordafrika den Einbruch der Araber sahen. Freilich machten in verhältnismäßig kurzer Zeit die Eroberer sich mit der Kultur der Unterworfenen bekannt, und die Geschwindigkeit, mit der dies geschah, spricht, wie nichts anderes für die Begabung der Nationen, die berufen waren, das morsch gewordene Römerreich zu Boden zu werfen. Namentlich waren es einzelne Fürstensöhne, die den Römern als Geiseln übergeben, bei ihnen erzogen wurden und sich deren Kultur nicht nur aneigneten, sondern auch ihren Wert zu schätzen lernten. So der Ostgote Theoderich, der, am Hofe des Kaisers Zeno in Byzantium erzogen, gegen 484 die Herrschaft über sein Volk antrat, 493 sich zum Herrn von Westrom machte und das unglückliche Land während seiner bis 526 dauernden Regierung des Segens eines längst entwöhnten Friedens teilhaftig machte. Er ließ den Römern ihre Verfassung, aber seine Goten hielt er abgesondert von ihnen unter ihren Befehlshabern, jene sollten den Bürgerstand, diese den der Krieger bilden, er selbst aber zog gebildete Römer an seinen Hof, und das sichert ihm seinen Platz in der Geschichte der Wissenschaft; denn der 475 in Bruttien unweit Scyllacium geborene Magnus Aurelius Cassiodorus Senator, der Kanzlerdienste bei ihm versah, faßte in einem Sammelwerke das Wissen seiner Zeit zusammen und empfahl dem Könige den begabten Anicius Manlius Severinus Boethius, der aus einer vornehmen Patrizierfamilie stammend 481 das Licht der Welt erblickt hatte. Er übersetzte die griechischen Schriftsteller in seine Muttersprache, war aber auch in den Anwendungen der Wissenschaft wohlbewandert. Beides wußte der König wohl zu würdigen. Wie hoch er seine Tätigkeit als Schriftsteller stellte, beweist ein Schreiben von ihm an Boethius, das uns Cassiodorus in der Sammlung von Verordnungen und Erlassen und sonstigen offiziellen Schriftstücken, im 1. Buch seiner Variarum (Epistolarum) Lib. XII aufbewahrt hat. „In deinen Übertragungen," schreibt der König an Boethius[1]), „wird die Musik des Pythagoras, die Astronomie des Ptolemaios lateinisch gelesen. Nikomachus, der Arithmetiker, der Geometer Eukleides werden von den Ausoniern gehört. Plato, der Forscher

[1]) Die Übersetzung nach Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. I. Bd. Leipzig 1880, S. 487.

göttlicher Dinge, Aristoteles, der Logiker, streiten in der Sprache des Quirinals. Auch Archimed, den Mechaniker, hast du lateinisch den Siculern zurückgegeben, und welche Wissenschaften und Künste auch das fruchtbare Griechenland durch irgendwelche Männer erzeugte, Rom empfing sie in vaterländischer Sprache durch deine einzige Vermittlung." Aber auch seine Tätigkeit als ausübender Forscher schlägt der König nicht gering an. Sonst hätte er ihm nicht den Auftrag gegeben, wie uns ebenfalls Cassiodorus berichtet, für den Burgunderkönig Gundobad, mit dem er damals friedlich verkehrte, eine Wasseruhr und eine Sonnenuhr zu besorgen, ein Auftrag, der freilich nicht zur Erledigung kam, da bald darauf ein Krieg zwischen ihm und Gundobad ausbrach. Doch hielt die freundschaftliche Gesinnung des Königs gegen Boethius nicht stand, als 523 der Kaiser Justinus I. ein scharfes Verbot gegen die arianische Glaubenslehre erließ, wozu sich Theoderich und seine Ostgoten bekannten, während die Römer dem katholischen Bekenntnisse anhingen. Das wurde Ursache, verschiedene vornehme Römer, darunter auch Boethius, des Einverständnisses mit dem Hofe in Byzantium, wahrscheinlich mit Unrecht, zu beschuldigen. Er wurde wegen Verrats in das Gefängnis geworfen und 524 enthauptet, ein Schicksal, welches auch seinen greisen Schwiegervater Symmachos ereilte, als dieser seinem Schmerz über Boethius' Tod allzu unverhohlen Ausdruck verlieh. Doch soll die Reue über diese Tat Theoderichs Geist verdunkelt haben, in welcher trüben Stimmung ihn 526 der Tod ereilte. Cassiodorus überlebte seinen König noch lange Zeit. In hohem Alter zog er sich in das Kloster zurück, das er nach dem Muster der ersten dieser von Benediktus von Nursia auf dem Monte Cassino bei Neapel gegründeten Anstalten ins Leben gerufen hatte, und starb dort im Jahre 570, nachdem er in der Zurückgezogenheit vom Leben sein Hauptwerk unter dem Titel De artibus ac disciplinis liberalium artium verfaßt und dadurch die Mönche auf die Beschäftigung mit den Wissenschaften hingewiesen hatte. Fortschritte in der Physik besonders hat man weder Cassiodorus noch Boethius zu verdanken, obwohl der letztere sich mit den Arbeiten der Pythagoreer eingehend befaßt hat. Doch ist die folgende Bemerkung über das Wesen des Schalles, die wir ihm verdanken, für unsere Betrachtungen von größter Bedeutung, da sie zeigt, daß die Wellentheorie des Schalles seit Vitruvius erheblich weiter ausgebildet war. „In bezug auf die Stimmen," lesen wir bei Boe-

thius[1]), „findet dasselbe statt, wie wenn ein aus der Ferne geworfener Stein in ruhigen Gewässern untersinkt. Zuerst sammelt er die Welle zu einem ruhigen Kreise, dann aber zerstreut er die Wellenmassen in größere Kreise, und zwar so lange, bis die unruhige Bewegung von der Hervorlockung der Wogen abläßt und sich nach und nach beruhigt, indem sich die Wellen in immer weiteren und größeren Umkreisen verlaufen. Wenn nun etwas vorhanden ist, was den wachsenden Wellen Widerstand leistet, so wird sofort jene Bewegung zurückgewendet und wird gleichsam nach dem Mittelpunkte hin, wo sie ausgegangen ist, durch dieselben Wellen abgerundet. Wenn also auf dieselbe Weise ein Luftstoß einen Ton erzeugt hat, so treibt dieser zunächst einen andern Luftstoß an und setzt so gewissermassen eine kugelförmige Luftmasse in Bewegung. Auf diese Art wird der Ton verteilt und berührt zugleich das Gehör aller Umstehenden. Dem, der in weiter Entfernung steht, erscheint die Stimme schwächer, weil zu ihm eine kleinere Welle der geschlagenen Luft gelangt."

Ob nun die Weiterbildung der Lehre von Boethius selbst herrührt oder ob sie irgendeinem seiner Vorgänger zu danken ist, steht dahin, bei seinen übrigen Schriften folgte er, wie Cassiodorus, der Sitte seiner Zeit, sich auf die Zusammenstellung dessen, was die Griechen geleistet hatten, zu beschränken. Das war auch längst die Sitte der Philosophen geworden, welche an der noch zu Athen bestehenden Hochschule lehrten. Aber gerade der Umstand, daß sie uns in ihren Kommentaren die Lehren ihrer großen Vorgänger aufbewahrten, hat auch ihre Namen unsterblich gemacht. Sie hoben die Bedeutung der athenischen Schule von neuem zu bewunderter Höhe, von der sie im Laufe der Zeiten bis zur Bedeutungslosigkeit herabgesunken war. Die in ihr vertretene Richtung aber war die platonische, wie sie von dem im Jahre 205 n. Chr. in Nikopolis in Ägypten geborenen Plotinos im Neuplatonismus wieder belebt worden war. Plotinos war 245 nach Rom gegangen, wo er 275 starb. Sein begabtester Schüler, der 233 in Tyrus geborene Porphyrius, eigentlich Malchus, der um 305 starb, und dessen Schüler Jamblichos aus Chalcis in Cölesyrien suchten mittels ihrer Lehre die heidnische Religion wieder zur alten Bedeutung zu erheben und führten zu dem Versuch, den der

[1]) Boethius, Fünf Bücher über Musik. Deutsch von O. Paul. Leipzig 1880, Kap. XIV, S. 18. Die Übersetzung nach Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 75.

Nachfolger des Sohnes des großen Constantinus, den Julianus Apostata[1]) machte, einen spekulativ gedeuteten und romantisch aufgeputzten Polytheismus wiederherzustellen, ein Versuch, der freilich kläglich scheiterte. Aber er hatte doch den Erfolg, daß er die wissenschaftliche Richtung des Neuplatonismus wieder zu einer strengeren machte, und dies zeigte sich sogleich in den Bestrebungen des bereits erwähnten Proklos, des Nachfolgers des zu des Jamblichos Schule gehörigen Syrianos. Zwar wird auch dem Plutarchos das Verdienst der Gründung der neuen Schule zugeschrieben, aber dieser kam in so hohem Alter im Jahre 117 wieder von Athen nach Rom zurück, wo er bereits 120 starb, daß daran im Ernste nicht gedacht werden kann. Für die Geschichte der Physik ist die Schule Athens aber bedeutungsvoll genug geworden. Schon Plotinos[2]) hatte den platonischen Begriff der Weltseele so weit ausgebildet, daß von ihr bis zum beseelten Raum nur noch ein Schritt war. Diesen tat Proklos, der den Beinamen des Diadochos erhält. Ehe er nach Athen kam, hatte er in Alexandria studiert; indem er nun die stoische Lehre von der Durchdringung der körperlichen Eigenschaften mit der Quinta essentia des Aristoteles vereinigte, kam er dazu, den Raum als ein körperliches beseeltes Wesen zu betrachten, das aus dem feinsten Lichte bestehe, dessen Durchdringbarkeit aber die Aufnahme der Materie ermöglichte, eine Anschauung, aus der sich der Äther der späteren Physik entwickelt hat. Nach ihm lehrten Isidoros, aus Alexandrien gebürtig, den man den Großen nannte, später um 510 Damaskios aus Damaskus und der bereits erwähnte Simplikios. Des ersteren Versuch, den Hellenismus in Athen wieder aufleben zu lassen, bewirkte das Gegenteil seiner Bestrebungen. Justinianus I. verbot in dem Bestreben alles, was der von ihm vertretenen christlichen Orthodoxie entgegenstand, zu vernichten, daß in Athen noch Philosophie gelehrt würde, und vernichtete damit die dortige Universität. Damaskios und Simplikios wanderten nun von Athen aus und begaben sich nach Persien, dessen Herrscher aus dem Hause des Sassaniden, Chosroes I., in dem Ruf stand, das platonische Regentenideal verwirklicht zu haben. Nur zu bald aber erkannten sie, daß man in Persien von der höheren Bildung, die im-

---

[1]) Hertzberg, Die Geschichte Griechenlands unter der Herrschaft der Römer. Teil III. Halle 1875, S. 536 ff.

[2]) Vgl. Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Bd. I. Hamburg und Leipzig 1890, S. 266 ff.

stande gewesen wäre, ihre Bestrebungen zu würdigen, doch recht weit entfernt war, und wußten es deshalb ihrem Beschützer Dank, daß er sie in den Friedensschluß, der 532 einen langjährigen Krieg mit Justinian beendete, mit einschloß und erwirkte, daß sie nach Athen zurückkehren und dort ruhig sterben konnten. Von Damaskios schweigt seitdem die Geschichte, die dagegen eine große Reihe wissenschaftlicher Werke, welche Simplikios noch verfaßte, zu erwähnen hat.

β) Philoponos.

Nach dem Erlöschen der hohen Schule Athens war nun die Alexandriens die einzige, welche die alten Überlieferungen noch aufrecht erhielt, aber auch ihre Tage waren gezählt. Mit der Eroberung der Stadt durch Omars Feldherrn Amru fand auch sie ihr Ende. Statt der Heiden nahmen nun aber christliche Gelehrte die Aufgabe, die Werke der Alten zu bearbeiten und zu kommentieren, in Angriff. Von diesen dürfen wir den unter dem Namen Isidorus Hispalensis bekannten Bischof von Sevilla nicht übergehen, welcher, aus vornehmem Geschlecht in Carthagena 570 geboren, 630 starb. Denn obgleich sein Hauptwerk, welches den Titel führt Originum seu Etymologiarum Libri XII, von vielen kläglichen und nichts sagenden Wortableitungen strotzt, so hat es doch für lange Zeit als einzige Grundlage der Wissenschaften gedient und enthält eine große Zahl aus den verschiedensten verloren gegangene Quellen zusammengetragener Notizen, die uns so erhalten worden sind. Ungleich höher steht der letzte der alexandrinischen Gelehrten von Bedeutung, Joannes Philoponus aus Alexandria, auch Grammatikus genannt. Er soll als betagter Greis die Einnahme seiner Vaterstadt erlebt und durch Amru bei Omar, wenn auch vergeblich sich für deren Bibliothek verwendet haben. Das ist alles, was uns über sein Leben überliefert ist, aber sowohl die Bestimmung, daß er 640 in hohem Alter gestanden, als auch die Erzählung seiner Bemühungen um jene Schriften, muß in das Gebiet der Sage verwiesen werden, da Philoponos erweislich den Kommentar zum 4. Buch der aristotelischen Physik im Jahr 517 geschrieben hat und da ferner, wie wir gesehen haben, der bei weitem größte Teil der alexandrinischen Bibliothek längst vernichtet war, als die Araber Ägyptens Hauptstadt eroberten.

---

[1]) Pauly, Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaft. Bd. IV. Stuttgart 1844, S. 274. — Cantor, Vorlesungen zur Geschichte der Mathematik. Bd. I. Leipzig 1880, S. 704.

Sind nun auch seine Hauptarbeiten Kommentare der Alten, so kommt ihm doch das Verdienst zu, weitaus selbständiger und kritischer bei deren Auslegung vorgegangen zu sein als seine Zeitgenossen. Mit Recht nannten sie ihn den Arbeitsfrohen (Philoponos), denn die Zahl der Schriften, die er hinterließ, die uns freilich nicht alle erhalten sind, ist eine sehr große, aber auch den Namen des Grammatikers verdient er, denn diese Schriften behandeln der Mehrzahl nach Kommentare zu den Werken früherer Philosophen, vor allen des Aristoteles. Aber er beschränkt sich nicht darauf, nur zu wiederholen oder höchstens zu erklären, was der Stagirite vorgetragen hatte, er unterwirft es vielmehr eingehender Prüfung und kommt bei der Lehre von den geworfenen Körpern zu so ganz andern Ergebnissen, daß ihm bereits 1591 Buonamici vorwarf, er habe die Fahne seines Lehrers verlassen, daß in neuester Zeit Emil Wohlwill[1]) den Nachweis führen konnte, daß nicht, wie bisher angenommen wurde, Galilei es war, der die Ursache der Bewegung eines Körpers nicht in der der Luft, sondern in der dem bewegten Körper eingeprägten bewegenden Kraft sah und so den ersten Anlaß zur Entwicklung des Begriffes vom Beharrungsvermögen gab, sondern, daß mehr als 1000 Jahre früher Philoponos diesen Schritt tat und sich klar genug darüber ausgesprochen hat. „An diejenigen," sagt er[2]), „die so reden, (welche die mitbewegte Luft als Vermittlerin der Bewegung hinstellen) ist zunächst die Frage zu richten: wenn jemand mit Gewalt einen Stein wirft, daß er die Luft stößt, die sich hinter dem Stein befindet, — nötigt er dadurch den Stein zu seiner naturwidrigen Bewegung oder gibt er, indem er stößt, auch in den Stein hinein eine bewegende Kraft? Denn, wenn er in den Stein keine Kraft gibt, sondern nur dadurch, daß er die Luft stößt, den Stein bewegt oder den Pfeil die Sehne — wozu braucht dann die Hand den Stein oder die Kerbe des Pfeils die Sehne zu berühren? Denn möglich müßte es sein, auch ohne irgendwelche Berührung, wenn der Pfeil z. B. auf der Kante des Holzes wie auf einer feinen Linie läge (und so auch der Stein) mit mancherlei Künsten Luft in Menge hinter ihm zu bewegen. Und offenbar müßte die Luft, in je größerer Menge und mit je größerer Gewalt sie bewegt würde, um so kräftiger stoßen, und um so weiter schleudern. Nun könnte man aber den Pfeil oder den

---

[1]) Wohlwill, Ein Vorgänger Galileis im 6. Jahrhundert. Physikalische Zeitschrift 1906, Bd. 7, S. 23. Joannis Philoponi in Aristotelis Physicorum libros quinque posteriores commentaria, ed. H. Vitelli. Berolini 1888, S. 639 ff.

[2]) Nach Wohlwills Übersetzung, S. 25.

Stein auf eine Linie ohne jede Breite oder auf einen Punkt legen und die gesamte Luft dahinter mit noch so kräftigem Antrieb in Bewegung setzen und doch würde der Pfeil nicht um eine Strecke von Armeslänge weit bewegt werden. Wenn also mit noch so kräftigem Antrieb bewegt, die Luft doch nicht bewegend wirkt, so ist offenbar bei den Werfenden oder Schießenden nicht die von der Hand oder der Sehne gestoßene Luft das Bewegende, denn warum sollte sie es mehr sein, wenn der Werfende das Geworfene berührt, als wenn er es nicht tut? Und überdies, wenn unmittelbar der Pfeil die Sehne berührt und die Hand den Stein und nichts dazwischen ist, welche Luft sollte es sein, die von hinten her bewegt wird? Wird aber die auf den Seiten befindliche bewegt — was hat sie für das Geworfene zu bedeuten? Aus diesem und vielem andern ist zu erkennen, daß unmöglich auf diese Weise bewegt wird, was durch Gewalt bewegt wird, sondern notwendig eine bewegende unkörperliche Kraft von dem Werfenden dem Geworfenen eingegeben werden muß und entweder die gestoßene Luft ganz und gar nicht zu dieser Bewegung beiträgt oder nur sehr wenig. Und nicht schwieriger wird diese durch den Augenschein beglaubigte Ansicht sein, als daß gewisse Energien[1]) von dem Gesehenen aus zu den Augen kommen, wie Aristoteles glaubt. Denn wir sehen, daß auch von den Farben gewisse Energien unkörperlich ausgehen und die umliegenden festen Körper färben, wie deutlich zu sehen ist, wenn durch gefärbte Gläser ein Sonnenstrahl fällt, denn den festen Körper, auf den der durch das Glas gehende Strahl fällt, färbt er ebenso wie die Farbe, durch die er hindurchgegangen ist. Offenbar ist also, daß gewisse Energien unkörperlich von dem einen auf anderes übergehen".

Wie vorurteilsfrei Philoponos zu Werke geht, tritt aus diesen Worten deutlich genug hervor. Spricht er doch hier die zutreffendere Anschauung aus, daß das Licht von den Körpern und nicht vom Auge ausgehe, eine Anschauung, zu der sich Heron und Ptolemaios noch nicht aufgeschwungen hatten. Er hält sich an die Beobachtung und so ist er auch keineswegs der Ansicht des Aristoteles, daß ein leerer Raum unmöglich sei. „Kommt die gewaltsame Bewegung so zustande, wie ich es behaupte," sagt er vielmehr[2]), „so ist klar, daß das gleiche um so viel eher geschehen wird, wenn jemand im Leeren einen Pfeil oder

[1]) Wohlwill macht darauf aufmerksam, daß Philoponos die Ausdrücke δύναμις und ἐνέργεια als durchaus gleichbedeutend gebraucht.

[2]) Wohlwill a. a. O., S. 25.

einen Stein gewaltsam schleudert". Daß aber er, als der erste den Begriff des Beharrungsvermögens vorbereitete, dessen erste Andeutung, wie wir sahen, sich bei Hipparchos findet, folgert Wohlwill mit Recht aus den folgenden Worten[1]): „Ich aber behaupte, daß, wie du (Aristoteles), der den Stoß der Luft als Ursache der naturwidrigen Bewegung bezeichnet, sagst, daß der bewegte Körper so lange bewegt wird, bis die der Luft von dem ursprünglich Stoßenden eingegebene bewegende Kraft vernichtet ist, daß so offenbar auch, wenn etwas im Leeren naturwidrig bewegt würde, es so lange bewegt wird, bis die ihm von dem ursprünglich Stoßenden eingegeben bewegende Kraft völlig schwach geworden ist". Daß dies nicht der Fall ist, entgeht ihm freilich. Für Versuche, die hierüber hätten Klarheit geben können, reichten die experimentellen Hilfsmittel seiner Zeit noch nicht aus. Wie nahe er aber der Aufstellung des Begriffes des Beharrungsvermögens war, beweist auch seine Ansicht, daß „die Bewegung der kreisenden Planeten einem primitiven Stoße" zuzuschreiben sei, die er mit der Idee des „Falles, eines Strebens aller schweren und leichten Stoffe gegen die Erde verbindet"[2]) und damit nach A. von Humboldt gleichsam die Trägheit der Materie anerkannte[3]). So hat er sich denn auch, freilich noch nicht mit voller Klarheit für das Beharrungsvermögen der Elementarbestandteile in den gemischten Körpern ausgesprochen, wenn er sagt, daß die Eigenschaft der Elemente in solchen vergangen zu sein schienen, insofern sie ihre Eigentümlichkeiten verloren hätten. Faßt er auch das Beharren dieser Teile nur in potentieller Beziehung auf, so will er diese Potentialität aber nur für ihre Eigenschaften gelten lassen[4]).

Aber auch noch in anderer Weise meint Philoponos die Ansichten des Stagiriten widerlegen zu können, dazu seien Fallversuche mit Körpern ein geeignetes Mittel. „Nach Aristoteles müsse", sagt er[5]),

---

[1]) Philoponos a. a. O., S. 644. — Wohlwill a. a. O., S. 26.

[2]) Philoponos, De creatione mundi. Lib. I, Cap. XII.

[3]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III. Stuttgart und Tübingen 1850, S. 597.

[4]) Pfeiffer, Die Kontroverse über das Beharren der Elemente in den Verbindungen von Aristoteles bis zur Gegenwart. Dillingen 1879, S. 13, 14. Vgl. Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Bd. I. Hamburg und Leipzig 1890, S. 240.

[5]) Philoponi in physicorum libros quinque posteriores. ed. H. Vitelli. Berolini 1888, S. 683. Nach Wohlwills Übersetzung, Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften, Bd. IV. Hamburg und Leipzig 1905, S. 241.

„wenn das Medium, durch das die Bewegung stattfindet dasselbe ist, verschieden aber die bewegten Körper nach den Gewichten sind, dasselbe Verhältnis, wie die Gewichte auch die Zeiten der Bewegungen zueinander haben; das aber ist gänzlich falsch, und dies kann besser als durch jeden logischen Beweis durch den Augenschein beglaubigt werden; denn wenn man zwei in sehr großem Maße an Schwere verschiedene Körper gleichzeitig von derselben Höhe fallen läßt, wird man sehen, daß nicht dem Verhältnis der Schweren das Verhältnis der Zeit der Bewegungen folgt, sondern nur eine sehr kleine Verschiedenheit in bezug auf die Zeiten stattfindet, so daß, wenn nicht in sehr großem Maße die Schweren voneinander verschieden wären, sondern z. B. die eine doppelt so groß als die andere, die Bewegungszeiten nicht verschieden sein würden". Durch den Versuch scheint Philoponus diese weit über die Ansichten seiner Zeit hinausgehende Annahme nicht geprüft zu haben.

γ) Die Zeit der Korolinger.

Mit Philoponos erlosch für Jahrhunderte die freie Forschung im Abendlande, die Schulen Alexandrias und Athens wurden geschlossen, die Beschäftigung mit den Wissenschaften aber war nur noch im Schutze der Kirche möglich, freilich auf Kosten der Selbständigkeit derer, die sich damit befaßten. Männer, wie der Bischof Isidor von Sevilla (Isidorus Hispalensis), der von 570 bis 636 lebte, der Schotte Beda (672 bis 735), dem seine Frömmigkeit und seine Schriften den Beinamen des »venerabilis« eintrugen, obwohl die letzteren sich der Hauptsache nach auf die des Isidor stützten, beschränken sich demnach darauf, den Wissensschatz der Alten in einer für ihre Zeit annehmbaren Weise zusammenzustellen und vorzutragen, wobei die alten Heiden hier und da schlecht genug wegkamen, während ihre Lehren doch Verwendung fanden. So wird Epikuros von Isidor einem Schweine gleichgeachtet, aber seine Atomenlehre ruhig angenommen[1]), mit der Beschränkung freilich, daß er, wie seine Zeitgenossen sich lediglich an die Bedeutung des Wortes hält und demnach allgemein Atom nennt, was nicht mehr geteilt werden kann. So unterschied Beda[2]) fünferlei Atome, das Körperatom, das Atom in der Sonne oder das

[1]) Sancti Isidori Hispalensis opera omnia. Ed. Migne. Paris 1850. Lib. VIII, Cap. VI, § 15 u. 16. Übersetzt in Laßwitz a. a. O., Bd. I, S. 33.

[2]) S. Laßwitz a. a. O., S. 34.

Sonnenstäubchen, das in der Sprache oder den Buchstaben, das in der Zahl oder die Einheit, endlich das in der Zeit, nämlich den 564. Teil eines Momentes, von dem vier auf eine Minute gehen. Zehn solcher Minuten aber enthält eine Stunde und so erhält Beda die Zeiteinteilung

$$1 \text{ hora} = \left| \begin{matrix} \text{4 puncti Solis à } 2\,{}^1\!/_2 \text{ minuta} \\ \text{5 puncti Lunae à 2 minuta} \end{matrix} \right| = 10 \text{ minuta} = 40 \text{ momenta} = 22\,560 \text{ atomi},$$

indem er zwischen Sonnen- und Mondstunden unterschied. In der Musik hatte man schon längst den kleinsten der verwendeten Taktteile Atom genannt. Über Isidor von Sevilla gingen auch Bedas Schüler, der Angelsachse Alcuin, eigentlich Alh-win, den Karl der Große 782 an die von ihm begründete Akademie berief, sowie der von Alcuin herangebildete Rhabanus Maurus, der im Jahre 856 als Erzbischof von Mainz starb, nicht hinaus. Trotzdem wäre es ganz verkehrt, die Bedeutung dieser Männer für die Entwicklungsgeschichte der Wissenschaften in Deutschland als gering zu bewerten. „Es war die große und schwere Aufgabe des Mittelalters," sagt in dieser Beziehung ein so berufener Gewährsmann wie von der Goltz[1]), „aus den Germanen, die bis dahin als ein halbnomadisches Kriegsvolk gelebt hatten, eine Nation zu machen, die befähigt war, sich an den der Menschheit gestellten Kulturaufgaben wirksam zu beteiligen.... Außerdem war es nötig, daß die Deutschen sich einer geregelten wirtschaftlichen Tätigkeit hingaben und Organe schufen, welche die Verwaltung der öffentlichen Angelegenheiten, die immer mannigfaltiger und komplizierter wurden, in die Hand nahmen. Die weitaus nötigste und wichtigste wirtschaftliche Tätigkeit bildete damals noch mehr als jetzt die Bebauung des Bodens, deren zweckmäßige Ausführung erst durch jahrhundertelange Übung und Erfahrung gelernt werden konnte." Dieser Aufgabe unterzog sich der große Kaiser mit bewunderungswürdigem Verständnis. Mit Recht nennt ihn Gustav Freytag[2]) einen Krieger und Landwirt von deutscher Art, aber der gewaltige Herrscher ließ es sich besonders angelegen sein, seinen derselben noch sehr bedürftigen Franken zu höherer Bildung zu verhelfen. Überall

[3]) Von der Goltz, Geschichte der deutschen Landwirtschaft. 1. Bd. Stuttgart und Berlin 1902, S. 194.

[2]) Freytag, Bilder aus der deutschen Vergangenheit. 1. Bd. Leipzig 1887, S. 347.

wurden Klosterschulen gegründet, von denen die zu Fulda bald den höchsten Ruhm erlangte, denn in der Person des Rhabanus hatte sie einen ausgezeichneten Gelehrten und Lehrer, dem die Mitwelt und Nachwelt den Ehrennamen des „ersten Lehrer Deutschlands“ gegeben hat. Ist diese Zeit des frühen Mittelalters auch nicht weiter forschend tätig gewesen, so ist ihr doch eine überaus wichtige Rolle in der Geschichte der Wissenschaft zugefallen; ohne die in ihr entwickelte Lehrtätigkeit hätte das Abendland, hätte in erster Linie Deutschland nie die wissenschaftliche Höhe erreichen können, die es nun in wenigen Jahrhunderten erklomm.

Damit ist freilich nur die formgebende Bedeutung jener Zeit dargetan. Den Bildungsstoff, den ihre Gelehrten überlieferten, mußte sie aus dem Altertume nehmen. Von dessen Wissenschaft aber war im Abendland, wie wir sahen, nur wenig und dies selten in seiner ursprünglichen Form erhalten. Hier aber kam unerwartete Hilfe von den Völkern des Orientes, deren Kriegszüge nicht wenig der bis dahin erhaltenen Schätze griechischer Geistesarbeit zerstört hatten und die nun einen nicht zu verachtenden Teil der erhaltenen Schriften, wenn auch nur in der Übersetzung in ihre Sprache dem Abendlande darboten, das sie in das Lateinische übertrug. Diese Sprache aber war die arabische, die verschiedenen Nationen faßt man deshalb unter dem Namen der Araber zusammen. Mit ihren Leistungen haben wir uns also zunächst zu beschäftigen.

2. Die Araber.

a) Politische Schicksale, Gründung von Hochschulen.

Die germanischen Völker hatten den europäischen Teil des weströmischen Reiches in Trümmer geschlagen und darauf das fränkische Königtum errichtet, die afrikanischen Gebiete erlagen, seit Alexandria 640 gefallen war, den semitischen Stämmen der Araber, die in raschem Siegeszug die nordafrikanische Küste unterwarfen, dann nach Spanien übersetzten und das dort noch blühende Westgotenreich eroberten. Ihr großer Plan, sich ebenso auch Europas zu bemächtigen, indem eines ihrer Heere bei Konstantinopel über den Hellespont setzen und sich mit einem zweiten von Spanien aus vordringenden vereinigen sollte, scheiterte einerseits an dem Widerstand der oströmischen Hauptstadt, welche mit Hilfe des sagenumwobenen, unter Wasser brennenden

griechischen Feuers wirksam verteidigt wurde, andererseits an dem Heldenmute des Großvaters Karls des Großen, Karl Martells, der in der mörderischen Schlacht zwischen Tours und Poitiers 732 die von Westen anstürmenden Araberscharen auf das Haupt schlug und über die Pyrenäen zurücktrieb. In Spanien aber und in Nordafrika, Syrien und der Levante behaupteten sich die Moslemin. Doch blieben diese großen Gebiete nicht lange zu einem Reiche vereinigt. Vielmehr machte sich schon 750 Spanien selbständig. Damals hatte Abûl' Abbas das bis dahin in Damaskus regierende Haus der Ommaijaden gestürzt und alle dazu gehörigen Glieder hinmorden lassen. Nur einem, 'Abd Arrahmân, war es gelungen, das auch ihm drohende Verderben zu vermeiden und nach Spanien zu entrinnen, wo er das unabhängige Kalifat von Cordova gründete, das erst 1492 den andrängenden Christen erlag.

Während nun aber die Germanen wegen ihrer nur geringen Bildung von den Römern mit Recht als Barbaren bezeichnet wurden, und es der Arbeit von Jahrhunderten bedurfte, bis sie sich die Bildung der Besiegten, deren Religion sie längst angenommen hätten, aneigneten, brachten die Araber nicht nur ihre eigene Religion, sondern auch eine hochausgebildete Sprache, die bereits eine nicht unbedeutende Entwicklung der Poesie ermöglicht hatte, mit. Daß sie trotzdem weit hinter den Griechen und Römern zurückstanden, erkannten ihre Herrscher bald, und sie suchten diesem Übelstand rasch abzuhelfen, indem sie ihr Volk der Segungen der griechischen Kultur teilhaftig machten. In Konstantinopel freilich war die Wissenschaft je länger je mehr vernachlässigt worden. Man hatte dort wohl noch die größten handschriftlichen Schätze aufgehäuft, aber die Fortschritte, die die Wissenschaft zeitigte, waren lediglich handwerksmäßige, denn nur als solche sind die Automaten zu bezeichnen, welche 850 dem Byzantiner Leo den größten Ruhm eintrugen. Dagegen hatte sich in Persien ein neues Zentrum griechischer Wissenschaft gebildet, da dorthin die Anhänger des von Konstantinopel vertriebenen Patriarchen Nestorius sich zurückgezogen hatten. Nestorius hatte zwischen dem Sohn Gottes und dem Sohn der Maria unterschieden, ein Dogma, gegen welches der uns schon vom Tode der Hypatia bekannte Patriarch von Alexandria, Cyrillus, sich mit aller Entschiedenheit erhoben hatte. Ein zur Schlichtung des Streites 431 nach Ephesus berufene Kirchenversammlung hatte die Absetzung beider Patriarchen ausgesprochen, und diese war vom Kaiser

Theodosius II. bestätigt worden. Cyrillus aber wußte durchzusetzen, daß die seinige zurückgenommen wurde, während Nestorius in die Verbannung gehen mußte, in welcher er starb. Seine Ansicht aber war die der Schule von Antiochia gewesen, aus welcher Nestorius hervorgegangen war. Nun nahm der Patriarch von Antiochia den Streit auf und erreichte zwar, daß sich Cyrillus zur Annahme eines vermittelnden Glaubensbekenntnisses bequemte. Damit aber war den Nestorianern noch nicht Genüge getan, hatten sie doch den Nestorius für unschuldig erklärt haben wollen. Sie verließen deshalb Antiochia und wandten sich nach Persien, wo sie mit offenen Armen aufgenommen wurden, wie später die unter Justinian I vertriebenen heidnischen Gelehrten Damaskios und Simplicius auch, wie wir bereits gesehen haben.

Die Nestorianer waren es nun, auf deren Hilfe die Kalifen in ihrem Bestreben, ihr Volk auf eine höhere Bildungsstufe zu erheben, zunächst angewiesen waren. Sie zogen der Schreibekunst mächtige jüdische und christliche Gelehrte, zogen Ärzte an ihren Hof, und diese legten den Grund der späteren arabischen Wissenschaft. Namentlich war es der Nachfolger des Abû'l'Abbâs, Abû Dschafar al Mansûr (der Siegreiche), der, beraten von dem Philosophen 'Amr ben 'Ubaid, solche an seinen Hof berief. Die Ommaijaden und auch noch Abbâs hatten in Damaskus residiert. Al Mansûr verlegte seinen Wohnort nach Bagdad, das er in der Nähe des alten Babylons am Tigris gründete. Er ließ dort die Schriften der Griechen in die arabische Sprache übersetzen, ein Streben, das sein Sohn, der Held so mancher Märchenerzählung aus Tausend und einer Nacht, Hârûn al Raschîd (Aron, der Gerechte), der von 786 bis 809 regierte, und das den Grund zu der Blüte arabischer Wissenschaft legte, auch zu dem seinigen machte. Die berühmte Wasseruhr[1]) freilich, die Hârûn Karl dem Großen zum Geschenk machte, dürfte von arabischen Künstlern noch nicht hergestellt gewesen sein. Sie war wohl der von Ktesibios bereits gebauten, nachgebildet und nicht nur mit einem Zeigerwerk versehen, sondern sie gab auch den Ablauf jeder Stunde durch den Klang an, welchen ein in ein Erzbecken fallende

---

[1]) Einhardi Annales in Pertz, Monumenta Germaniae historica Scriptorum. T. I, 1826, S. 195. Vgl. Humboldt, Kosmos, Bd. II, Stuttgart und Tübingen 1847, S. 451.

Metallkugel hervorrief, während aus ebenso vielen sich öffnenden Türchen kleine Reiter hervortraten. Wohl einsehend, daß die Zwecke der Einführung griechischer Bildung die Einrichtung von Hochschulen voraussetzte, folgte Hârûn dem Beispiele ʿAbd Arrahmâns, der bereits 755 eine solche in Cordova errichtet hatte, und rief eine solche in Bagdad ins Leben. Zu dieser kam gegen Ende des 1. Jahrtausends eine dritte in Kahira (Kairo), die gegründet wurde, nachdem sich Ägypten 972 von dem Kalifat in Bagdad losgesagt hatte. Die Lehrer dieser Hochschulen waren auch in dem nicht arabischen Europa hochgeachtet, doch zogen sie wohl nur Araber an sich heran. Es ist eine Legende, daß der Franzose Gerbert, der als Sylvester II. später den päpstlichen Stuhl bestieg, in Cordova studiert habe.

Zwischen diesen Mittelpunkten der Wissenschaft fand ein reger Wettstreit statt, der allerdings zunächst sich nur auf die Übersetzung der Werke der Griechen beschränkte. Handelte es sich doch vor allen Dingen darum, einen Schatz an positivem Wissen zu sammeln, und dieser fand sich nur bei den Hellenen. Die ersten Übersetzungen, die bereits Al Mansûr anfertigen ließ, waren wahrscheinlich nicht solche der Originale, sondern aus den bereits in Persien vorhandenen syrischen Übersetzungen weiter übersetzt, unter Hârûns Regierung aber nahm man bereits die griechischen Originaltexte vor und übertrug sie, wenn auch anfangs mit geringem Geschick, wie denn nach Cantors[1]) Vermutung „die sprachwidrige Verbindung des arabischen Artikels al mit dem griechischen Superlativ *μεγίστη*“, die in dem Worte Almagest niedergelegt ist, einer solchen frühen Übersetzung ihren Ursprung verdankt. Besser gelangen die Übersetzungen griechischer Schriftsteller, welche Hârûns Sohn ʿAbdallah al Mamûn (der durch Vertrauen Beglückte) durch seinen christlichen Leibarzt Hunain ben Ishâk verfertigen und durch den 836 in Harran in Mesopotamien geborenen Thâbit ben Kurrah ben Marwân al Harranî durchsehen ließ. Ihm war es vor allem daran gelegen, wertvolle Manuskripte zu erhalten. Deshalb ließ er sich nach Beendigung eines glücklichen Krieges mit dem oströmischen Reiche, statt die Zahlung der Kriegskosten zu verlangen, eine Anzahl von Manuskripten übergeben, um sie übersetzen zu lassen. Diese Übersetzungen, denen später auch Kom-

[1]) Cantor, Vorlesungen zur Geschichte der Mathematik. Bd. I. Leipzig 1880, S. 602.

mentare zugefügt wurden, haben eine Reihe griechischer Schriften uns bewahrt, die ohne die Zwischenkunft der Araber verloren sein würden. Daß dazu auch indische Originale kamen, werden wir sehen. Diejenigen davon, welche ihnen den meisten Ruhm einbrachten, die noch weit über die Zeit des Mittelalters hinaus sich am längsten behaupteten, die über Alchemie und Astrologie, haben freilich die Naturwissenschaften nur wenig gefördert. Doch aber gaben gerade sie nicht zuletzt den Anlaß, die arabischen Schriften wieder in die Gelehrtensprache des Mittelalters, in die lateinische, zu übertragen. Da auf diese Weise eine Anzahl der griechischen Originalwerke, die bis dahin unbekannt geblieben waren, durch die anschließenden Arbeiten der arabischen Forscher der Benutzung des Abendlandes erst zugänglich wurden, so ist es begreiflich, daß der Hohenstaufe Friedrich II., der große Achtung vor arabischer (maurischer) Wissenschaft hegte, die Herstellung solcher Übersetzungen sehr begünstigte. Wenn nun auch das meiste, was uns von den Arabern überliefert worden ist, auf griechische Anregungen zurückgeführt werden muß, die in manchen Fällen vielleicht nur mündlich übermittelt wurden, so haben sie es doch in durchaus verständiger Weise wiedergegeben und öfters auch eigene Arbeiten zugefügt. Dadurch wurden viele der arabischen Schriftsteller auch im Abendlande bekannt, aber die oft ungebührlich langen, aus vielen Worten bestehenden Namen wurden nur zum Teil übernommen, und so ist es immer nötig, den arabischen mit dem abendländischen Namen in Einklang zu bringen.

Es standen den Arabern nur wenige Namen zur Verfügung, wie dies in späteren Zeiten ja auch namentlich in den unteren Volksschichten Deutschlands der Fall war. Zur besseren Unterscheidung war es deshalb öfter nötig, den Namen des Vaters, aber auch den des Sohnes dem Eigennamen zuzufügen[1]). Vater aber heißt abû, Sohn ibn oder ben, wobei nach E. Wiedemanns[2]) Vorgang die Form ben zu wählen ist, wenn das Wort zwischen zwei Namen steht. Demnach wäre der Namen des Gelehrten, der 827 eine Gradmessung am arabi-

[1]) L. Kremer, Kulturgeschichte des Orients unter den Kalifen. Bd. II. Wien 1877, S. 442. — Wüstenfeld, Geschichte der arabischen Ärzte und Naturforscher. Göttingen 1840, S. X bis XIII. Vgl. Cantor a. a. O., Bd. I, S. 599.

[2]) E. Wiedemann, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. Sitzungsberichte der physikal.-medizin. Sozietät in Erlangen 1904, S. 323. — Vgl. auch E. Wiedemann, Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften, Jahrg. XII, 1906, S. 73 ff.

schen Meerbusen auf Befehl des Kalifen Al Mamûn ausführen ließ, Abû Dscha'far Muhammed ben Mûsa, der aber unter seinem Beinamen Alchwarizmî bekannt geworden ist, Muhammed Dscha'fars Vater, Mûsas Sohn, der Chwarizmer (aus der Provinz Chwarizm). Von den Benû Mûsa (den Söhnen des Mûsa) ist auch ein Werk „über die Kunststücke, Springbrunnen, Lampen, Zauberbecher usw." vorhanden, das auch auf byzantinischen Ursprung hinweist[1]).

Wenn wir im folgenden den Anteil der Araber an dem Fortschritte der Geschichte der Physik zu schildern unternehmen, so muß besonders darauf hingewiesen werden, daß darunter alle arabisch schreibenden Gelehrten zu verstehen sind. Dem Volke der Araber gehörten diese freilich keineswegs alle an. Es waren vielmehr vielfach auch Perser, Inder, Syrer, Ägypter, Berber, Türken, Sizilianer oder Spanier. Deshalb schlägt Khanikoff[2]) vor, anstatt wie bisher von der arabischen künftig von der orientalischen Wissenschaft zu reden, während Lewes[3]) selbst diese Bezeichnung verwirft und nur griechische, persische oder jüdische Wissenschaft anerkennen will. Nach arabischem Gebrauche dürfte man dann nur von griechischer Wissenschaft reden, denn die Muhammedaner nannten nur diejenigen Philosophen, welche sich mit griechischer Philosophie abgaben. Es schien indessen nicht zweckmäßig, von den gewohnten Bezeichnungen zu neuen überzugehen, und mit diesem Vorbehalt werden wir nunmehr den Anteil der Araber an der Entwicklung der Physik darzustellen haben[4]).

Vorher noch einige Worte über die arabischen Maße! Die Araber bedienten sich der nämlichen, die im Altertume allgemein üblich waren, also der babylonischen. Sie unterschieden demgemäß zwischen zwei Ellen, der königlichen, welche 24 und der schwarzen, welche 27 Zoll hielt. Daneben waren indessen auch noch andere Maße im Gebrauch. Die Art nun, wie sie ihr Maßsystem auf die Bestimmung des Zolles zurückführten, beweist, daß der Zusammenhang, den die Babylonier

---

[1]) Siehe E. Wiedemann, Festschrift der Wetterauischen Gesellschaft Hanau 1908, S. 29.

[2]) Khanikoff, Journal of the Oriental Society, Bd. VI.

[3]) Lewes, Geschichte der Philosophie, Bd. II, S. 34.

[4]) Vgl. Rosenberger, Geschichte der Physik. Bd. I. Braunschweig. 1882. S. 70. — Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Bd. I, Hamburg und Leipzig 1890, S. 134.

ihren Maßen untereinander gegeben hatten, längst verloren gegangen war. In ganz willkürlicher Weise definierten sie den Zoll als die Dicke von sechs nebeneinander gelegten Gerstenkörnern, als die kleinste Länge nahmen sie die Dicke eines Kamelhaares, nach Jomard gleich zu setzen 0,000535 m, an[1]).

b) Die älteren Araber, ihre Behandlung der Chemie und der Optik.

α) Geber.

Sogleich bei dem ersten und wohl auch dem bedeutendsten der arabischen Gelehrten tritt uns die Unsicherheit in deren Namengebung entgegen. Er ist unter dem Namen Geber bekannt, aber diesen Namen findet man mehrfach und hat wohl geglaubt, drei oder gar vier Gebers annehmen zu müssen. Mit Sicherheit haben wir aber wohl nur für zwei den Namen in Anspruch zu nehmen, über deren Lebensverhältnisse wir freilich so gut wie gar nichts oder wenigstens nichts Sicheres wissen. Fest steht freilich, daß das Abendland die in das Lateinische übersetzten Schriften meist chemischen Inhaltes besaß, die von einem Geber verfaßt sein sollten, und daß dieser Verfasser in höchster Achtung stand. Wurde er doch als magister magistrorum oder pater philosophorum oder als philosophus perspicacissimus aufgeführt. Über seine Lebensschicksale gehen die Überlieferungen auseinander. Nach den einen soll er in Mesopotamien, nach den andern in Chorasan geboren sein, ja nach Leo Afrikanus, der seine Schriften im 15. Jahrhundert verfaßte, soll er von christlichen Eltern geboren und erst später zum Islam übergetreten sein. Die bestbeglaubigte Nachricht nennt als seinen Geburtsort Tarsus in Kleinasien, als seinen späteren Wohnort Kufa am Euphrat. Sein vollständiger Namen lautet nach E. Wiedemann[2]): Abû Musâ 'Gâbir ben Haijân el Umavî el Azdî el Sufî. Mit ihm ist vielfach ein Astronom gleichen Namens verwechselt worden, von dem später die Rede sein soll. Als sein Hauptwerk wird angeführt: Summa perfectionis magisterii, als andere Schriften

---

[1]) Gehlers Physikalisches Wörterbuch. Neue Bearbeitung. Bd. VI, Abt. 2. Leipzig 1836, S. 1239.

[2]) E. Wiedemann, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen 1904, S. 323.

von ihm gelten die weiteren: De investigatione perfectionis metallorum, de inventione veritatis, das auch unter dem Titel Alchemia geht, und de fornacibus construendis[1]). Das ihm ebenfalls zugeschriebene Werk Kitâb el Rahma, d. i. das Buch der Barmherzigkeit, muß nach E. Wiedemann[2]) ein Schüler von ihm verfaßt haben.

Ist dieses nun sicher keine Arbeit Gebers, so wird man auch seine Autorschaft der übrigen nicht als unzweifelhaft annehmen dürfen und, so meint Kopp[3]), daß „vieles ungewiß bleibt, namentlich auch, ob unter demselben Namen verschiedene Persönlichkeiten und welche zusammengefaßt seien." „Wie eine mythische Person steht Geber da," fährt Kopp fort, „welcher als der Hauptlehrer der Alchemie und damit auch der Chemie lange Zeit so hoch geehrt war und dessen Namen die Schriften tragen, von deren Inhalt man Kenntnis nehmen muß, wenn man die Ausbildung der Chemie übersehen, wenn man namentlich auch sich über die Quelle der allgemeinen chemischen Ansichten unterrichten will, die fast während des ganzen Mittelalters die herrschenden waren und noch weiterhin Einfluß ausübten."

Durch Untersuchungen, welche neuerdings von Berthelot[4]) angestellt worden sind, ist nun bewiesen, daß die angeführten Schriften in der Tat nicht von Geber herrühren, und daß namentlich die Summa perfectionis magisterii nicht vor der Mitte des 14. Jahrhunderts verfaßt ist, und daß sie eine Zusammenstellung der chemischen Kenntnisse geben, die die vier bis fünf Jahrhunderte nach Geber sich nach und nach angeeignet haben. Berthelot hat aus den sicher von ihm verfaßten arabischen Schriften zudem nachweisen können, wie gering noch der Wissensschatz Gebers war, und daß er sich eng an griechisch-alexandrinische Alchemisten anlehnte. Die ihm fälschlich zugeschriebenen Arbeiten, die auf arabische Werke wohl bis zum Jahre 1000 zurückgehen[5]), enthalten demnach die chemischen Kenntnisse, die sich während

[1]) Kopp, Geschichte der Chemie. Bd. I. Braunschweig 1843, S. 56.

[2]) E. Wiedemann a. a. O., S. 323.

[3]) Kopp, Beiträge z. Geschichte der Chemie. 3. Stück. Braunschweig 1875, S. 14 ff.

[4]) Berthelot, Les origines de l'alchimie (Paris 1885) und Introduction à l'étude de la chimie des anciens et du moyen-âge (Paris 1889), ferner zwei Abhandlungen in der Revue des deux mondes 1893. Vgl. E. v. Meyer, Geschichte der Chemie. Leipzig 1895. S. 26.

[5]) Stapleton, Memoirs of the Asiatic Society of Bengal 1905. Bd. I. S. 47. Vgl. E. Wiedemann, Zur Alchemie bei den Arabern. Journal für praktische Chemie 1907. Neue Folge, Bd. 76, S. 108, Note 8.

der bezeichneten Zeit die arabischen Gelehrten angeeignet haben, und so haben sie ein großes Interesse für unsere Betrachtungen.

Im Vergleich zu Zosimos weisen sie einen viel reicheren Inhalt auf. Sie zeigen, wie man starre Körper durch Schmelzen oder Auflösen verflüssigen, flüssige wieder erstarren lassen kann. Sie enthalten die Operationen des Filtrierens, Kristallisierens, Destillierens, Sublimierens und der Kupellation, und verfügen über die Kenntnis früher nicht bekannter Stoffe, wie Vitriol, Alaun, Salmiak, Alkali, Arsenik usw., während die die Metalle betreffenden über das, was Plinius und Dioskorides wußten, nicht hinausgehen. Sie beschränken sich auf Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Eisen und Quecksilber. Dagegen sprechen sie von Mineralsäuren, zeigen, daß sich Silber in Salpetersäure löst, kennen Königswasser und wohl auch unreine Schwefelsäure. Auch den Schwefel lassen sie auf die Metalle wirken und erhalten durch Einwirkung von Schwefel auf Quecksilber und Sublimation Zinnober, nach Kopp[1]) die älteste deutliche Angabe, daß und aus welchen für sich darstellbaren Substanzen eine eigentliche chemische Verbindung zusammengesetzt sei.

Es lag nicht im Wesen der antiken und mittelalterlichen Naturwissenschaft, sich damit zu begnügen, aus beobachteten Tatsachen allgemein gültige Gesetze abzuleiten; vielmehr suchte man den Erscheinungen auf den Grund zu gehen, und dieses Streben veranlaßte die griechischen Philosophen zur Aufstellung ihrer jeweiligen Systeme. Diese haben die arabischen Gelehrten übernommen und ausgebildet, neue zugefügt haben sie nicht. Zunächst hatte bei ihnen, sei es durch die Darstellungen in den aristotelischen Schriften, sei es durch Übersetzungen anderer, die sie aus Syrien bekamen, in der ersten Zeit die Atomistik Anklang gefunden. Die frühesten Mutakallim[2]), d. h. diejenigen unter den mohammedanischen Gelehrten, welche die Lehren des Koran philosophisch prüfen und begründen wollten, den Kalam (Wort = λόγος), die wissenschaftliche Auslegung von dessen Lehren übten, hatten sich ihrer bemächtigt, da sie durch eine solche Zerstückelung der Erfahrungswelt Gott die Möglichkeit bewahrten, auf die Welt unausgesetzt nach seinem Belieben einzuwirken. Gott schafft,

---

[1]) Kopp, Beiträge zur Geschichte der Chemie. 3. Stück. Braunschweig 1875, S. 38.

[2]) Hierüber und über das Folgende s. Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Bd. I. Hamburg und Leipzig 1890. S. 134 ff.

meinten sie, die ausdehnungslosen Atome und vernichtet sie nach seinem freien Willen, durch ihre Vereinigung und Trennung läßt er die Körper entstehen und vergehen. Als dann die Araber namentlich durch die Bemühung Al Mamûns eingehendere Kenntnisse von den Schriften der griechischen Philosophen bekamen, gewann die aristotelische Lehre immer mehr an Verbreitung, und indem die sie Auslegenden sie weiter zu führen suchten, wurde sie mehr und mehr auch mit neuplatonischen Gedanken verquickt. In solcher Weise gehen auch die Geber zugeschriebenen Schriften vor und legen den chemischen Körpern die aristotelischen Elemente zugrunde, verwerfen aber mit deren Schöpfer die Annahme von Atomen mit dazwischen befindlichen leeren Räumen.

Sie setzen eine Urmaterie voraus, die durch viererlei Grundeigenschaften bestimmt wird. So bilden sich die vier Elemente des Aristoteles, Erde, Wasser, Luft, Feuer. Aus diesen Elementen nun entstehen weiter durch innige Vereinigung Verbindungen, und der Gehalt der neuen Körper an diesen Verbindungen bedingt deren chemische Eigenschaften. Die in Rede stehenden Arbeiten nennen die beiden so erhaltenen Grundstoffe Sulfur, d. i. Schwefel, und Mercurius, Quecksilber, wollen aber darunter keineswegs die Körper verstehen, die wir jetzt so nennen und die auch damals bereits so genannt wurden. Sie stellen vielmehr das gewisse Eigenschaften Bedingende dar und namentlich werden die Metalle als aus ihnen bestehend gedacht. Der Sulfur stellt dann deren Eigenschaft dar, im Feuer Veränderungen zu erleiden, der Mercurius aber gibt ihnen den Glanz, die Dehnbarkeit, die Schmelzbarkeit und die Fähigkeit, sich mit dem gemeinen Quecksilber zu amalgamieren. Dieses aber ist nicht dasselbe, wie der Mercurius, es enthält ihn nur vorzugsweise, ebenso wie der gemeine Schwefel den Sulfur. „Man dachte sich," sagt Kopp[1]), „jene Grundstoffe etwa als in der Beziehung zu diesen Körpern stehend, als in welcher stehend wir jetzt Kohlenstoff und Steinkohle betrachten. Je reiner der Grundstoff bei überwiegendem Mercuriusgehalt, um so edler sollte das Metall sein, und so war die Annahme, daß es möglich sei, ein Metall in ein anderes, insbesondere ein unedles in ein edles zu verwandeln, durchaus eine aus dieser Anschauung sich ergebende Folgerung. Man mußte eben nur die Grundstoffe auf den erforderlichen Grad von Rein-

---

[1]) Kopp, Die Alchemie in älterer und neuerer Zeit. I. Teil. Heidelberg 1886, S. 14.

heit bringen und das richtige Verhältnis zwischen ihnen suchen. So ist die Alchemie oder die Lehre von der Metallverwandlung von der Chemie noch nicht getrennt, und sie erhielt erst ihren verwerflichen Charakter, als sie trotz der nach anderer Richtung hinweisenden in der Chemie gemachten Fortschritte sich in ein geheimtuerisches Wesen verlor und manche ihrer Vertreter bewußten Betrug nicht scheuten, um von habgierigen Gläubigen sich unerlaubte Vorteile zu verschaffen. Die dazu benutzten Mittel schildert bereits in der ersten Hälfte des 13. Jahrhunderts Al ʿGaubarî in ausführlicher Weise[1]). Daß trotzdem mancher Fortschritt der Chemie und namentlich der chemischen Technologie auf Rechnung der Alchemie zu setzen ist, ist ja bekannt.

Dazu war natürlich eine größere Zahl von Experimenten, die nach bestimmtem Plan angestellt wurden, nötig, und solche hat unzweifelhaft A. v. Humboldt[2]) im Auge, wenn er sagt: „Auf diese letzte in dem Altertum fast ganz unbetretene Stufe haben sich vorzugsweise im großen die Araber erhoben," denn ein paar Seiten vorher beschreibt er weitläufig des Ptolemaios optische Versuche und rühmt sie nach Verdienst[3]). Und wenn er sie die eigentlichen „Gründer der physischen Wissenschaften"[4]) nennt, so hat er sie deshalb doch wohl nicht, wie Rosenberger[5]) meint, als die Erfinder des Experimentierens betrachten wollen, wie denn auch Khanikoff[6]) aus jenen Worten nur die Begründung des Wunsches entnimmt, die Literatur der Araber möglichst zugänglich zu machen.

Im Gegensatz zu ihren chemischen gingen die Kenntnisse, die die Araber vom Magneten und seinen Eigenschaften hatten, über die der Griechen und, setzen wir hinzu, die der Chinesen wenig hinaus. Auch sie sind aus dem „Buche der Barmherzigkeit" zu entnehmen. Danach zieht der Stein das Eisen durch eine geistige Kraft an, die weder zu sehen noch zu fühlen ist. Sie schildert der chinesische Schriftsteller Kuopho, der im 4. Jahrhundert n. Chr. lebte, indem er sagt: „Es ist wie ein

---

[1]) E. Wiedemann, Zur Alchemie bei den Arabern. Journal für praktische Chemie 1907. Neue Folge, Bd. 76, S. 82.

[2]) A. v. Humboldt, Kosmos. Bd. II. Stuttgart und Tübingen 1847, S. 249.

[3]) Ebenda, S. 216. — [4]) Ebenda, S. 248.

[5]) Rosenberger, Geschichte der Physik. Bd. I. Braunschweig 1882, S. 68.

[6]) Khanikoff, Analysis and Extracts of Book of the Balance of Wisdom. Journal of the American oriental Society. Vol. VI, S. 2.

Windeshauch, der beide geheimnisvoll durchweht und pfeilschnell sich mitteilt"[1]), und so wäre es ja auch nicht unmöglich, daß die Araber aus chinesischen Quellen geschöpft hätten. Die Beobachtungen freilich, daß der Magnet auch durch Messing hindurch wirkt, und daß das Gewicht des Magnetsteines ungeändert bleibt, wenn auch seine Kraft geringer wird, haben sie dem Wissen ihrer Vorgänger zugefügt[2]).

β) Rhases und Avicenna.

Wie nun Geber die Chemie bedeutend weiter förderte, so waren andere arabische Gelehrte auf mathematischem Gebiete mit Glück tätig und eine Reihe Benennungen, die jetzt zu den gewöhnlich in der Mathematik üblichen gehören, verdanken wir ihnen. Hand in Hand mit diesen Bestrebungen gingen auch astronomische Beobachtungen, die freilich zu dem zu ihrer Zeit bekannten Neues nicht zufügten. Namentlich war es der zweite unter dem Namen Geber bekannte arabische Gelehrte, der am Ende des 12. Jahrhunderts in Sevilla lebte und mit vollem Namen Abû Muhammed 'Gâbir ben Aflah hieß, von dem ein Teil der Mathematik den Namen Algebra erhalten hat[3]), der das Werk des Ptolemaios einer scharfen Kritik unterwarf[4]). Aber nicht nur die griechische Astronomie befähigte die Araber zu ihren Studien, größere Förderung noch erhielten sie von Indien her. Namentlich übte diese Wirkung neben etwaiger mündlicher Einwirkung die Übertragung des Sindhind genannten astronomischen Werkes des 598 geborenen Inders Brahmagupta, das 773 nach Bagdad kam und von Muhammed ben Ibrâhîm al Fazârî übersetzt wurde[5]). Nun stellten um die Mitte des 9. Jahrhunderts der Hofastronom Al Mamûns Achmed Muhammed ben Kothair al Forgani (der Rechner) und etwa 50 Jahre später Muhammed ben Dschâbir ben Sinân Abû 'Abdallah al Bathânî, den die Übersetzer Albategnius nennen, ihre Beobachtungen[6])

[1]) Klaproth, Lettre à M. A. de Humboldt sur l'invention de la boussole 1834, S. 125. Vgl. Kosmos, Bd. I, S. 435.

[2]) E. Wiedemann, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen 1904, S. 324.

[3]) Cantor, Vorlesungen zur Geschichte der Mathematik. Bd. I. Leipzig 1880, S. 619, 652.

[4]) Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877, S. 72.

[5]) Cantor a. a. O., Bd. I, 598.

[6]) Wolf a. a. O., 67.

an, deren, namentlich der des letztgenannten, Genauigkeit die Zeitgenossen nicht genug zu rühmen wußten, während der in Teheran 903 geborene ʿAbd Arrahmân al Sûfi das Sternverzeichnis des Almagest verbesserte und die scheinbaren Sterngrößen auf das sorgfältigste bestimmte[1]), der Perser Abûl Wafâ Muhammed ben Muhammed al Bûzdschânî (geb. 939 zu Bûzdschân) neben eingehenden arithmetischen Studien auf der ihm anvertrauten neuen Sternwarte Bagdads die Planeten beobachtete und die Ergebnisse seiner Beobachtungen in seinem neuen „Almagestum sive systema astronomicum" niederlegte[2]), sein jüngerer Zeitgenosse, ja vielleicht Schüler, der 1008 verstorbene Ägypter Hasan 'Alî ben Abi Saʿîd ʿAbd-Arrahmân, der unter dem Namen Ibn Jûnus bekannt ist, auf der für ihn erbauten Sternwarte in Kairo die astronomischen Tafeln der Sonne, des Mondes und der Planeten, die dem Kalifen Hakem zu Ehren die hakemitischen genannt wurden, ausarbeitete. Sie sind freilich nur in Bruchstücken auf uns gekommen[3]), während die toledanischen, die der Toledaner Al Zerkali oder Alzachel um 1080 zusammenstellte, später für die alphonsinischen Tafeln benutzt wurden[4]). Aber wie neben der Chemie die Alchemie, so ging neben der Astronomie die Astrologie her, deren Ursprung bis auf die Babylonier zurückzuführen ist, die bis in das 18. Jahrhundert eine allgemeine Verbreitung genoß, und deren Reste bis zum heutigen Tage noch nicht vernichtet werden konnten.

Die Fortschritte der Chemie hatten, wie es wohl nicht anders sein konnte, auf die ärztliche Kunst einen entscheidenden Einfluß ausgeübt. Es war möglich geworden, nicht nur eine Reihe neuer Mittel, sondern namentlich auch reine Präparate in die Heilkunde einzuführen. Dieser Aufgabe unterzog sich der aus Khorasan gebürtige, um 932 erblindet in Bagdad verstorbene Arzt Abû Bekr Muhammed ben Sukarjiâ el Râzî, der Rhases der Abendländer, indem er in seinem Hauptwerk die Materia medica seiner Zeit niederlegte, daneben aber auch eine Reihe chemischer Schriften verfaßte[5]). Auch begründete er

[1]) Wolf a. a. O., 194. — [2]) Wolf a. a. O., 68.

[3]) Wolf a. a. O., 69. — [4]) Wolf a. a. O., 72.

[5]) F. Wüstenfeld, Geschichte der arabischen Ärzte und Naturforscher. Göttingen 1840, S. 40. Vgl. E. Wiedemann, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen. 1904. Bd. 36, S. 349.

näher die bereits von Aristoteles ausgesprochene Behauptung, daß das Sehen nicht durch Strahlen, welche vom Auge, sondern durch solche, welche vom Gegenstand ausgehen, erfolge[1]). Diese Ansicht vertrat in einem Teil seiner Schriften auch Al Fârâbi (870 bis 950), erklärte sich aber anderseits in seiner von Gerhard von Cremona übersetzten Aufzählung der Wissenschaften (De Scientiis) im entgegengesetzten Sinne[2]). Das medizinische Werk aber, welches der 980 in Buchârâ geborene, 1037 zu Hamadan verstorbene Abû 'Alî Husain ben 'Abdallâh ben Husain ben 'Alî as-Schaich ar Râîs ibn Sînâ unter dem Namen Avicenna bekannte Arzt und Philosoph verfaßte, führte mit Recht den Titel Al-Kanûn fit-Tib, d. i. Canon medicinae, denn die sämtlichen medizinischen Kenntnisse seiner Zeit, die es zusammenfaßte, bildeten für viele Jahrhunderte nach ihm den Kanon der Medizin und Chemie. In seinen Anschauungen schließt er sich eng an Aristoteles an und behauptet, wie dieser, daß die Materie und Gott von Ewigkeit bestehen. Die Materie aber ist der Grund der Einzeldinge, welche kein notwendiges, sondern nur ein mögliches Dasein haben, in ihr ist deshalb der Grund für die Vielheit der Einzelwesen zu suchen. Den leeren Raum verwirft er und da er als Mediziner die die Körper durchziehenden Poren anerkennen muß, so hilft er sich ebenso wie der Stagirite, indem er sie als mit Säften gefüllt ansieht. Die Elemente betrachtet er als Körper, welche die zusammengesetzten Körper als unterste Teile bilden und in Körper verschiedener Formen nicht mehr geteilt werden können. Diese bleiben unverändert, wenn sie auch Verbindungen eingehen, aber ihre Eigenschaften wirken aufeinander und erleiden Veränderungen. Die in der Welt wirkenden Kräfte sind Ausflüsse der Gottheit, sie vermitteln deren übernatürliche Wirkungen als Engel, deren natürliche als Gestirngeister. So wurde Avicennas Lehre Ursache, daß auch die arabische Philosophie sich nunmehr an Aristoteles' Lehre anschloß.

Rhases und Avicenna beschränkten ihre Arbeiten nicht nur auf die Heilkunde. Der letztere hat vielmehr auch auf mathematischem und physikalischem Gebiete gearbeitet. Auf letzterem gab er eine Er-

[1]) E. Wiedemann, Zur Geschichte der Lehre vom Sehen. Wiedemanns Annalen 1890, Bd. 39, S. 471 und Beiträge usw. II. Sitzungsberichte usw. 1905, Bd. 37, S. 337.

[2]) E. Wiedemann, Beiträge usw. XI. Sitzungsberichte usw. 1907, Bd. 39, S. 88.

klärung der Farben[1]). Danach erzeugt Hitze im Feuchten Schwärze, im Trockenen dagegen das Weiß, während Kälte umgekehrt wirkt. Aus Licht und Schwarz entsteht, wenn das letztere überwiegt, Rot, ist das erstere stärker Zitrongelb, dieses mit Schwarz gemischt, gibt grün, und so nimmt er drei Wege an, auf denen die Farben durch solche Mischungen entstehen können, die vom Weiß beginnend zum Schwarz führen. Sie sind von dem später zu erwähnenden Nasîr al Dîn um eine Reihe anderer vermehrt worden. Die Avicenna zugeschriebenen alchemistischen Schriften sind aber untergeschoben[2]). Rhases scheint sich dagegen mit Astronomie beschäftigt zu haben. Wenigstens führt Ibn Abî Ja'qûb el Nadîm in seinem großen bio- und bibliographischen Werke, welches den Titel Kitâb al Fihrist führt, ein Werk an, aus dessen Titel geschlossen werden muß, Rhases habe angenommen, daß die Ursache des Untergehens der Sonne und der Sterne nicht die Bewegung der Erde, sondern die des Himmels ist[3]). Wie ihre Gewährsmänner hielten also die Araber noch an der Annahme der ruhenden Erde fest.

γ) Alhazen.

Wenn die Araber sich nun auch in der Optik zunächst an die Griechen und namentlich an Eukleides anschlossen, so sind doch in diesem Teile der Physik mannigfache Fortschritte zu verzeichnen, welche sie selbständig gemacht haben. Diese knüpfen an den Namen Alhazens an, dessen das ganze Gebiet der Optik umfassende Arbeit in arabischer Handschrift in Leiden aufbewahrt wird. Eine Übersetzung derselben in die lateinische Sprache lieferte 1572 Risner[4]). Abû Alî Muhammed ben el Hasan ben el Haitam el Basri, wie der volle Namen des arabischen Gelehrten lautet, lebte im Beginn des

[1]) E. Wiedemann, Eders Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik 1908.

[2]) H. Kopp, Die Alchemie in älterer und neuerer Zeit. Teil I. Heidelberg 1886, S. 15.

[3]) Al Fihrist des Ibn Abî Ja'qûb el Nadîm, ed. Flügel I, S. 302. Vgl. E. Wiedemann, Wochenschrift für Astronomie, Meteorologie und Geographie 1890, Nr. 17.

[4]) Opticae Thesaurus Alhazeni Arabis libri VII nunc primum editi. Ejusdem liber de Crepusculis et nubium ascensionibus. Item Vitellionis Thuringopoloni libri X. Omnes instaurati figuris illustrati et aucti adjectis etiam in Alhazenium Commentariis a Frederico Risnero. Basileae 1572.

11. Jahrhunderts. Da er die Ansicht ausgesprochen hatte, es sei leicht, das Austreten des Nils so zu regeln, daß es von den Witterungsverhältnissen unabhängig werde, wobei er wohl das in der Nähe seiner Vaterstadt Basra bei Tuster von Schâpûr (240 bis 271 n. Chr.) erbaute große Stauwerk, den Schâdurwân, im Auge hatte[1]), so beschied ihn der Kalif Al-Hâkim in seine Hauptstadt Kairo und beauftragte ihn mit der Ausführung seines Planes. Leider mußte sich Alhazen von dessen Unmöglichkeit überzeugen und dadurch die Ungnade seines Herrn über sich ergehen lassen, die sich durch weitere Fehlgriffe seinerseits bis zu solchem Grade steigerte, daß der Gelehrte es für ratsam fand, sich bis zu des Herrschers Tode verborgen zu halten. Nachher trat er wieder in die Öffentlichkeit, in der er aber bis zu seinem 1038 erfolgten Tode[2]) sich nur noch schriftstellerisch betätigte[3]). Wie Geber ist auch er oft mit einem anderen gleichen Namens, dem Cordovaner Arzte ʿAbd el Rahman ben Ishak ben el Haitam verwechselt oder wenigstens von ihm nicht getrennt gehalten worden. Darauf, daß dieser aber, der um 1100 lebte, von jenem wohl unterschieden werden muß, sich auch nie mit Optik abgegeben hat, hat E. Wiedemann[4]) mit Nachdruck hingewiesen.

Alhazens Arbeiten über das Licht schließen zwar an die des Eukleides und des Ptolemaios an, gehen aber in so wichtigen Punkten über sie hinaus, daß die große Bedeutung, die ihnen die abendländischen Forscher beilegten, ihre volle Berechtigung hat. Zudem beschreibt ihr Urheber mit großer Ausführlichkeit seine Versuche und beweist auch damit, daß seine Forschungsergebnisse die der Griechen vielfach weit hinter sich lassen. Sie zerfallen in zwei Gruppen, von denen wir nach dem gegenwärtigen physikalischen Standpunkt die eine der Experimentalphysik, die andere der physiologischen Optik zuweisen würden. Die letztere hat Alhazen zuerst behandelt, für unsere Darstellung empfiehlt sich jedoch mehr die umgekehrte Anordnung.

---

[1]) E. Wiedemann, Zur Technik bei den Arabern. Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. X. Sitzungsbericht der physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen. Bd. 38. Erlangen 1906, S. 324.

[2]) Caussin, Mémoires de l'institut royal, académie des inscriptions et belles-lettres 1822. T. VI.

[3]) Cantor, Vorlesungen zur Geschichte der Mathematik. I. Bd. Leipzig 1880, S. 679.

[4]) E. Wiedemann, Festschrift für J. Rosenthal. Leipzig 1906, S. 149 ff.

Zuerst beweist er die geradlinige Fortpflanzung der Lichtstrahlen; der Wortlaut seiner Darstellung finde hier in der Übersetzung Baarmanns[1]) als Probe der zwar gründlichen aber auch etwas weitschweifigen Schreibweise des arabischen Gelehrten Platz. „Wenn das Licht der Sonne," sagt er, „oder das Licht des Mondes, oder das Licht des Feuers durch einen mäßigen Spalt in ein dunkles Zimmer eintritt, und es ist in dem Zimmer Staub, oder wird Staub im Zimmer aufgeregt, so wird das durch den Spalt eintretende Licht in dem mit der Luft vermischten Staube ganz deutlich sichtbar, und es wird auf dem Boden oder an der dem Spalt gegenüberstehenden Wand des Zimmers sichtbar. Und man findet das Licht von dem Spalt bis auf den Boden oder bis zu der dem Spalt gegenüberstehenden Wand auf geradlinigen Bahnen vordringend. Und wenn man an dieses sichtbare Licht zur Vergleichung einen geraden Stab hält, so findet man das Licht in der geraden Richtung des Stabes vordringend. Ist aber im Zimmer kein Staub, und das Licht erscheint auf dem Boden oder auf der dem Spalte gegenüberstehenden Wand und wird dann zwischen das sichtbare Licht und den Spalt ein gerader Stab gestellt, oder zwischen beiden ein Faden fest angespannt und dann zwischen das Licht und den Spalt ein undurchsichtiger Körper gestellt, so wird das Licht auf diesem undurchsichtigen Körper sichtbar und verschwindet von der Stelle, an der es sichtbar war. Wenn man dann den undurchsichtigen Körper in der Raumstrecke hin und her bewegt, welche die gerade Richtung des Stabes einhält, so findet man das Licht immer auf dem undurchsichtigen Körper sichtbar. Es ist somit hieraus klar, daß das Licht von dem Spalt bis zu der Stelle, an der es sichtbar ist, auf geradlinigen Bahnen vorwärts geht." Das Licht, welches in dem durchsichtigen Körper so fortschreitet, heißt Strahl. Lichtstrahl und Sehstrahl werden selbstverständlicherweise als voneinander unabhängig hingestellt. Auch über leuchtende und nicht leuchtende Körper, über die Art von deren Durchsichtigkeit spricht sich Al Hazen weitläufig aus[2]), wie er denn auch darauf An-

[1]) Baarmann, Ibn al Haitams Abhandlung über das Licht. Inaug.-Diss. Halle 1882, S. 15. Auch Zeitschrift der deutschen morgenländischen Gesellschaft 1882, Bd. 36, S. 195. Vgl. auch Ibn Al Haitams Schrift: Über den Schatten. E. Wiedemann, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. XIII. Sitzungsbericht der physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen 1907, Bd. 39, S. 230.

[2]) Vgl. hierüber E. Wiedemann, Wiedemanns Annalen 1883, Bd. 20, S. 337, wo die Übersetzung der „Darlegung des Inhaltes der Abhandlung

spruch macht, als erster zwischen dem lichtlosen Kernschatten und einem zweiten Schatten, dem noch Licht beigemengt ist, unterschieden zu haben[1]). Zur Erklärung der Farben geht er über das bereits von Ptolemaios Mitgeteilte nicht hinaus. Zur Prüfung des Reflexionsgesetzes wendete Alhazen einen dem oben beschriebenen ähnlichen Apparat an, der auch jetzt noch gebraucht wird, um in Vorlesungen und bei ähnlichen Gelegenheiten das Brechungsgesetz zu demonstrieren, nämlich einen Hohlzylinder, in dessen Mittelpunkt sich der Spiegel befindet, während seine Wände mit Löchern versehen waren. Durch jene fiel das Licht auf einen in der Zylinderachse senkrecht aufgestellten Spiegel und trat dann durch dasjenige Loch heraus, welches den nämlichen Winkelabstand von der Mitte hatte, wie das den Strahl einlassende. Er vervollständigte so zugleich das Reflexionsgesetz, indem er dartat, daß Einfallslot, einfallender und reflektierter Strahl in einer Ebene liegen. Die angewendeten Spiegel waren aus Eisen, er unterschied aber sieben verschiedene Arten, indem er außer dem ebenen konvex und konkav zylindrische, kegelförmige und sphärische anwendete, mittels aller aber die Richtigkeit des Reflexionsgesetzes prüfte. Ebenso ausführlich und sorgfältig verfuhr er bei der Untersuchung der Brechung der Lichtstrahlen. Den dazu brauchbaren Apparat beschreibt er folgendermaßen[2]): „Man nimmt eine runde, ziemlich starke Scheibe aus Kupfer von wenigstens einer Elle (etwa 48 cm) Durchmesser. Sie muß einen Rand haben, der senkrecht auf ihrer Oberfläche steht und wenigstens drei Finger breit ist. In der Mitte des Rückens der Scheibe muß sich eine kleine runde Säule von wenigstens drei Finger Länge befinden, die senkrecht auf der Oberfläche der Scheibe steht. Dieses Instrument befestigen wir so auf der Drehbank, auf der die Drechsler ihre Kupfergeräte drehen, daß die eine Spitze derselben auf die Mitte der Scheibe, die andere auf die Mitte der kleinen Säule kommt, und drehen den Apparat so lange ab, bis die Ränder innen und außen vollständig kreisrund und glatt sind, und die kleine Säule auch kreisrund ist. Hierauf

---

über Licht“ von Ibn al Haitam nach einem arabischen Kodex der Leidner Bibliothek gegeben ist.

[1]) In seiner Schrift: Über die Beschaffenheit der Schatten, vgl. E. Wiedemann, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften XIII. Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Societät in Erlangen, Bd. 39, 1907, S. 226.

[2]) Risner, Opticae Thesaurus Alhazeni etc., S. 231 bis 233. Die Übersetzung nach E. Wiedemann, Wiedemanns Annalen 1884, Bd. 21, S. 541.

ziehen wir auf der inneren Oberfläche des Instrumentes zwei aufeinander senkrechte Durchmesser, dann bezeichnen wir einen Punkt auf der Basis des Randes des Instrumentes, dessen Abstand vom Ende eines der beiden Durchmesser eine Fingerbreite beträgt. Von diesem Punkte aus ziehen wir einen dritten Durchmesser durch die Mitte der Scheibe. Dann ziehen wir von den beiden Enden dieses Durchmessers aus zwei Linien auf dem Rande senkrecht zur Oberfläche der Scheibe. Auf der einen dieser beiden Linien bezeichnen wir von der Scheibe aus drei etwa um die Länge eines halben Gerstenkornes (1,7 mm) voneinander abstehende Punkte und ziehen auf der Drehbank durch diese Punkte drei voneinander gleichweit abstehende Kreise, die natürlich die gegenüberstehende kurze Linie gleichfalls in drei gleichweit voneinander abstehenden Punkten schneiden. Dann teilt man den mittleren Kreis in 360 Grade und womöglich noch in Minuten. In den Rand bohrt man ein kreisförmiges Loch, dessen Mittelpunkt der obige der drei Punkte ist, und dessen Durchmesser gleich dem Abstand der beiden äußersten ist. Nun nehmen wir ein mäßig dünnes, genau rechteckiges ebenes Stück Blech von der Höhe des Randes und etwa gleicher Breite. Von der Mitte der einen Seite ziehen wir eine zu dieser senkrechte Linie, auf der wir drei Punkte, die gleich weit voneinander abstehen, bezeichnen. Ihr Abstand a sei dabei gleich den Abständen je zweier der Kreise auf dem Rande. Wir bohren dann in die Platte ein rundes Loch, dessen Mittelpunkt dem mittleren der obigen Punkte entspricht, und dessen Radius gleich dem Abstand a ist. Wir erhalten so ein Loch, das vollkommen mit dem im Rande des Instrumentes korrespondiert. Darauf sucht man den Mittelpunkt des Radius, welcher den Mittelpunkt der Scheibe mit der Linie auf dem Rande verbindet, auf welcher sich das Loch befindet, und zieht durch ihn eine Senkrechte zu dem Radius; längs dieses befestigt man nun vollkommen fest das kleine Blech, so daß die Mitte desselben genau auf den Radius zu liegen kommt, die kleine Öffnung in ihr liegt dann genau derjenigen auf dem Rande gegenüber. Die Verbindungslinie der Mittelpunkte der beiden Öffnungen liegt in der Ebene des mittleren der beiden Kreise auf dem Rand, liegt parallel zu dem Durchmesser auf der Scheibe und verhält sich wie die Absehe beim Astrolab. Hierauf schneidet man aus dem Rande des Instrumentes dasjenige Viertel aus, welches an das Viertel sich anschließt, in welchem sich das Loch befindet, und welches durch die zwei ersten Durchmesser bestimmt ist, und gleicht den Rand genau ab. Hierauf nimmt man ein

quadratisches Stück Metall von eher mehr als einer Elle Länge und feilt die Flächen desselben möglichst senkrecht zueinander ab. In der Mitte derselben bohrt man ein Loch senkrecht zu der einen Fläche, so daß sich der oben erwähnte säulenförmige Teil schwierig in demselben drehen läßt. In dieses Loch setzt man den säulenförmigen Teil ein. Von dem Metallstück schneidet man so viel ab, daß es gleich steht mit dem Rande der Scheibe, und legt die beschnittenen Enden auf die Enden des Metallstückes und verbindet sie mit denselben. Zweckmäßig ist es, durch das Ende der kleinen Säule, die aus der Öffnung im quadratischen Stück hervorragt, einen kleinen Stift zu treiben. Die Messungen werden so angestellt, daß man das Instrument bis zum Mittelpunkte ins Wasser taucht, der Verbindungslinie der beiden Öffnungen verschiedene Neigungen gegen den Horizont gibt und den Mittelpunkt des Bildes unter dem Wasser bestimmt, wenn die Sonnenstrahlen eben die beiden Öffnungen durchsetzen."

Die ausführliche Schilderung seiner Versuche legt das beste Zeugnis für die Umsicht und Sorgfalt ab, mit denen Alhazen dabei zu Werke ging. Hat er auch nicht wie Ptolemaios die erhaltenen Versuchsergebnisse mitgeteilt und waren seine Versuche auch nur eine Wiederholung der von dem Alexandriner angestellten, so lassen sie doch anderseits erkennen, daß die Kunst des Experimentierens nicht unbeträchtlich weiter ausgebildet war. Bis zur Kenntnis des Brechungsgesetzes ist er zwar nicht durchgedrungen, es muß auch als fraglich bezeichnet werden, ob er seiner Auffindung nahegekommen ist, aber indem er beobachtete, daß die Brechungswinkel nicht das nämliche Verhältnis zu den Winkeln, welche der einfallende Strahl mit dem Einfallslot macht, bewahren, sondern daß diese Verhältnisse in demselben durchsichtigen Körper verschieden sind[1]), beweist er, um wie viel seine Beobachtungsmethode der des Ptolemaios überlegen war. Den Ort des durch die gebrochenen Strahlen erzeugten Bildes findet er in dem Punkte, in welchem sich das vom Gegenstand auf die brechende Fläche gefällte Lot und der gebrochene Strahl oder seine Verlängerung schneiden. Von diesem Bild glaubt er freilich, daß es ein vergrößertes sei, zu welcher Annahme ihn die Beobachtung führte, daß eine plankonvexe Glaslinse einen Gegenstand vergrößert erscheinen läßt, wenn man ihn mit der ebenen Fläche in Berührung bringt und durch die gewölbte betrachtet.

---

[1]) Risner, Opticae thesaurus Alhazeni. Lib. VII, 10.

Diesen Vorgang sah er bei jedem im Wasser befindlichen Körper verwirklicht, da er dessen Oberfläche als einen Teil der kugelförmigen Erde ansehen zu müssen glaubte. Hatte man also bisher Linsen nur als Brenngläser benutzt, so war es nun zum ersten Male, daß man von ihrer vergrößernden Wirkung Gebrauch machte. Es ist schwer verständlich, wie es möglich war, daß diese Beobachtung so spät gemacht wurde, die Art aber, wie Alhazen den Versuch beschreibt, läßt mit Sicherheit folgern, daß er etwas Neues in ihm sah[1]).

Als Brennglas wollte Alhazen eine massive Kugel oder eine mit Wasser gefüllte Hohlkugel aus Glas benutzen, auf welche er Sonnenlicht fallen ließ. „Bei jeder glatten und durchsichtigen Kugel aus Glas oder einer ähnlichen Substanz wird die Wärme der Sonnenstrahlen in einer Entfernung von der Kugel vereint, die kleiner als ein Viertel des Durchmessers ist", sagt er[2]), übersah dabei freilich nicht, daß keineswegs alle Strahlen in dem nämlichen Punkte vereinigt werden. Bei dem Experimentieren mit einer solchen Kugel beobachtete er auch die Reflexion gebrochener Strahlen an deren hinteren Fläche, ja auch die Brechung mit zweimaliger Reflexion sah er. Die dabei auftretenden Farben entgingen ihm keineswegs, doch war die Erscheinung bei zweimaliger Reflexion wegen ihrer Lichtschwäche nur schwer zu beobachten. Durch diese Beobachtung war die Erklärung des Regenbogens in der auch jetzt noch als richtig anerkannten Weise möglich. Es scheint aber nicht, als ob Alhazen auch schon diese Anwendung seiner Versuche gemacht habe. Wohl aber hat er zu der Vereinigung von Sonnenstrahlen in einem Punkte Hohlspiegel benutzt und solche hergestellt, die ihren Brennpunkt hinter der Kugeloberfläche besaßen. Dazu nahm er ringförmige Stücke mit immer wachsendem Durchmesser aus Stahlblech und beobachtete dabei, daß nur die Strahlen in einem Punkt der Achse reflektiert werden, die in einem um den Pol (d. i. Scheitel) des Spiegels beschriebenen Kreise liegen. Je größer aber der Kreis war, desto näher am Pole wurde der Durchschnittspunkt der reflektierten Strahlen beobachtet[3]). Demnach gebührt Alhazen und nicht, wie

[1]) Ebenda, Lib. VII, S. 41 u. 45. Vgl. Wilde, Geschichte der Optik. I. Bd. Berlin 1838, S. 74.

[2]) Kommentar eines Traktats des Ibn al Haitam. Leidner Handschrift vgl. E. Wiedemann, Über die Brennkugel. Wiedemanns Annalen 1879, Bd. 7, S. 680.

[3]) E. Wiedemann, Zur Geschichte der Brennspiegel. Wiedemanns Annalen 1890, Bd. 39, S. 123.

Wilde[1]) angibt, dem Roger Baco das Verdienst, die Längenabweichung sphärischer Spiegel zuerst gefunden zu haben. Deshalb konnte aber der arabische Gelehrte nicht die Lage des Brennpunktes in der Mitte des Radius finden, sondern er kommt zu dem genaueren Ergebnis, daß derselbe nicht um die Hälfte des Radius vom Scheitel des Spiegels entfernt liegt. Nur beim parabolischen Stahlspiegel treffe es zu, daß parallel auf ihn auffallende Strahlen sich in einem Punkte der Achse treffen.

Genaue Kenntnisse besaß Alhazen vom Auge[2]) Es besteht nach seiner Angabe aus drei Flüssigkeiten und den sie umhüllenden Häuten. Jene sind der humor albugineus (jetzt aqueus) und der humor glacialis, welcher wiederum aus dem humor crystallinus, worunter die Kristallinie verstanden ist, und dem humor vitreus (Glaskörper) zusammengesetzt ist. Die Flüssigkeiten werden von der Tunica uvea, auf deren hinterem Teil die Tunica retina (Netzhaut) aufliegt, umschlossen. Die Tunica uvea wiederum umhüllt die Tunica consolidativa und die Tunica cornea (die Hornhaut). Für den eigentlich empfindenden Teil des Auges hielt Alhazen die Kristallinse, weil deren Zerstörung dem Auge die Sehkraft nimmt. Sie bildet den Mittelpunkt des Auges. Nur solche Strahlen, welche senkrecht auf seine Oberfläche treffen und ungebrochen hindurchgehen, können zu einer visio distincta, zu scharfem Sehen Veranlassung geben. Dazu muß aber jedem Objektpunkte ein einziger Punkt des gereizten Sehorganes entsprechen[3]). Die Sehstrahlen verbinden den Augenmittelpunkt, an dessen Stelle in Listings reduziertem Auge der Knotenpunkt getreten ist, mit dem Punkte des Gegenstandes und bilden wie bei Ptolemaios, den er im Gegensatz zu Montuclas anklagender Behauptung[4]) nicht nur benutzt, sondern auch zitiert, die Pyramis optica, die Sehpyramide, deren Spitze im Mittelpunkt des Auges liegt. Deren Achse entspricht der heute so genannten Richtungslinie. Die Sehstrahlen gehen aber im Gegensatz zu des Alexandriners Ansicht nicht vom Auge aus, sondern

---

[1]) Wilde a. a. O., I. Bd., S. 99.

[2]) Risner, Opticae thesaurus Alhazeni etc. Lib. I. S. 13.

[3]) Risner, Opticae Thesaurus Alhazeni Arabis Basileae 1572. Lib. I, prop. 15, Lib. VII, prop. 37. Vgl. v. Bezold, Poggendorffs Annalen, Ergänzungsband VIII, 1878, S. 510.

[4]) Montucla, Histoire des Mathématiques. 2. Ed. Tom. I, 1799, S. 312. Vgl. E. Wiedemann, Wiedemanns Annalen 1877, Bd. I, S. 480.

vom Gegenstand, eine Annahme, die, wie wir sahen, bereits Rhazes und Al Fârâbî gemacht hatten. Strahlen, die seitlich in das Auge gebrochen werden, können indessen auch zum Sehen, wenn auch nicht zum distinkten Sehen beitragen. Die von den verschiedenen Punkten des Objektes gezogenen Strahlen werden nun das Auge in bestimmten Figuren treffen und uns zu einer einzigen Gesichtsempfindung Veranlassung geben, wenn diese Figuren auf der Linsenoberfläche von ähnlicher Lage sind[1]); ist das nicht der Fall, so erscheint der Gegenstand doppelt, eine Annahme, die den identischen Netzhautbildern nahe genug kommt. Auch den Farbenkreisel beschreibt Alhazen und erklärt seine Wirkung aus der Annahme, daß die Wahrnehmung von Licht und Farbe einer gewissen Zeit bedarf[2]).

Wie Ptolemaios versucht dann auch Alhazen die gesteigerte Größe der Himmelskörper im Horizonte zu erklären. Seine uns von Roger Bacon aufbewahrte Ansicht, die dieser freilich irrtümlicherweise auch dem Alexandriner zuschreibt, ist die folgende[3]): „Die Phantasie setzt die im Horizonte oder dessen Nähe befindlichen Sterne wegen der Menge der dazwischen gelegenen Gegenstände, deren Entfernung zum Teil bekannt ist, in eine größere Entfernung als wenn sie im Zenith oder in der Nähe desselben stehen. Da nun der Sehwinkel in beiden Fällen derselbe bleibt, so muß der Durchmesser der Sterne größer erscheinen, wozu noch kommt, daß die sich gewöhnlich in der Nähe des Horizontes aufhaltenden Dünste zur Vergrößerung beitragen." Hier finden wir also bereits die nämliche Erklärung der auffallenden Erscheinung, die auch gegenwärtig noch als die richtige angenommen ist[4]).

Während nun die Durchsichtigkeit des Äthers unter allen Umständen die nämliche ist, kann die der unterhalb des Äthers befindlichen Luft

---

[1]) Opticae Thesaurus etc. Lib. III, prop. 4.

[2]) Ib. Lib. II, Cap. 20.

[3]) Nach Wildes Übersetzung: Geschichte der Optik. Bd. I. Leipzig 1838, S. 75.

[4]) Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik. 2. Aufl. Hamburg und Leipzig 1896, S. 838, wo indessen irrtümlich die im Text angegebene Erklärung dem Ptolemaios zugeschrieben wird. Derselbe Fehler befindet sich auch in E. Gerland, Leibnizens nachgelassene Schriften physikalischen, mechanischen und technischen Inhaltes. Leipzig 1906, S. 107. Bei der dort mitgeteilten Ansicht Leibnizens kann wohl Al Hazens Erklärung zugrunde gelegen haben, die das größere Aussehen des Mondes im Horizonte aus dem Umstand ableitet, daß er dann mehr Körpern entspricht (respondet).

eine wechselnde sein, je nachdem sie Wasser und andere durchsichtige Flüssigkeiten in sich birgt, welche sich dem Lichte gegenüber nicht gleich verhalten. Ihre Durchsichtigkeit hängt davon ab, ob Staub, Rauch oder Nebelteilchen ihr beigemischt sind; ist das der Fall, so strahlt sie zweites, nach unserer Ausdrucksweise diffuses Licht zurück. Auf diesen Vorgängen beruht die Dämmerung, die nach den Beobachtungen Alhazens erst dann erlischt, wenn sich die Sonne um 19° unter dem Horizont befindet. Daraus berechnet der arabische Forscher die Höhe der Atmosphäre zu 52 000 Schritten[1]) oder 5 bis 6 Meilen, wobei allerdings darauf aufmerksam zu machen ist, ist, daß so nur die Höhe der noch Sonnenlicht reflektierenden Teilchen der Atmosphäre, aber nicht die volle Höhe dieser gefunden werden kann. Auch entging es Alhazen, daß die Reflexion des die Dämmerung bewirkenden Lichtes nicht in einem Punkte erfolgt, und daß bei Beurteilung ihrer wahren Höhe notwendig auch die Wirkung der Brechung in Rechnung gezogen werden muß.

c. Die jüngeren Araber. Die ersten Bestimmungen des spezifischen Gewichtes.

α) Al Bêrûnî und Al Châzinî.

Wir haben gesehen, wie Geber die Chemie der alten Ägypter nach den verschiedensten Richtungen hin fortgebildet und durch wichtige neue Erfahrungen bereichert hat, wie Alhazen die optischen Kenntnisse der alexandrinischen Gelehrten erweiterte und verbesserte. Daß sie auch mit anderen physikalischen Lehren, jener mit magnetischen Versuchen, dieser mit mechanischen Problemen sich beschäftigt haben, lehrt uns ein Buch, das Al Châzinî zum Verfasser und die „Wage der Weisheit" zum Titel hat. Es ist im Jahre 1857 von Khanikoff[2]) im Urtext und der Übersetzung im Journal der American Oriental Society veröffentlicht und, wie die von den Herausgebern beigefügte Note 3[3]) besagt, dem Seldschuken-Sultan Sanjar, der von 1117 bis 1157 einen großen Teil des alten Kalifats von Bagdad beherrschte, gewidmet.

---

[1]) Opticae Thesaurus etc., Anhang.

[2]) N. Khanikoff, Analysis and Extracts of „Book of the balance of Wisdom. Journal of the American Oriental Society 1860. Vol. 6, S. 1 bis 128.

[3]) Ebenda, S. 113.

Danach bestimmt sich die Abfassungszeit des Buches, das nur in einer jetzt in Petersburg aufbewahrten, leider etwas verstümmelten Handschrift erhalten ist[1]), und die Lebenszeit seines Verfassers, der in der Stadt Jucjânigah in der Provinz Khuwânazm in der Nähe der Mündung des Oxus in den Aralsee seine Tage verbrachte. Al Châzinî bezieht sich in seinem Buch auf die Arbeiten eines Zeitgenossen Alhazens, des Abû al Raihân al Bêrûnî, und führt dessen spezifische Gewichtsbestimmungen an, indem er sie durch eigene ergänzt.

Al Bêrûnî war im nordwestlichen Indien geboren, aber arabischer Abkunft. Er hat viele Reisen in Indien gemacht und lebte dann am Hofe des Gaznawiden Mahmud; er starb 1038 oder 1039. Er war vorzugsweise auf astronomischem, mathematischem und geographischem Gebiete tätig, und es verdankten die Inder ihm die Kenntnis mancher abendländischer Schriften, die sie in freilich ziemlich unverständlich gehaltenen Übersetzungen wiedergaben[2]). Er gab zwei Methoden zur Bestimmung des Erdumfangs an, die auf der Bestimmung des Breitenunterschiedes zweier Orte von gemessener Entfernung oder auf der Messung des Winkels, den die untergehende Sonne mit der Horizontalen in Punkten von verschiedener Höhe über den Erdboden einschließt, beruhen, und fand die Länge eines Grades zu 58 Meilen[3]). Aber auch physikalische Fragen hat Al Bêrûnî behandelt. Wie aus Al Châzinîs Mitteilungen und aus einer in Beirut befindlichen handschriftlichen der Arbeit Al Bêrûnîs hervorgeht[4]), verdankt man ihm sehr genaue Bestimmungen des spezifischen Gewichtes, das darin als das Verhältnis des Gewichtes des vom Körper verdrängten Wasservolumens zu dessen absolutem Gewicht definiert wird. Ist dies nun auch die älteste Definition jenes wichtigen Begriffes, die uns in der Geschichte der Physik begegnet, so muß ihn doch auch Al Bêrûnî bereits gehabt haben, da von ihm spezifische Gewichtsbestimmungen

---

[1]) E. Wiedemann, Über das Al Bêrûnîsche Gefäß zur spezifischen Gewichtsbestimmung. Verhandlungen der deutschen physikalischen Gesellschaft. X. Jahrg. 1908, S. 339.

[2]) Kremer, Kulturgeschichte des Orients unter den Kalifen. Wien 1877. Bd. II, S. 424. Vgl. Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik Bd. I. Leipzig 1880, S. 609.

[3]) E. Wiedemann, Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik; 1908. Bd. I, S. 66.

[4]) E. Wiedemann, a. a. O., S. 339.

erhalten sind[1]). Er nahm sie mit dem „konischen Instrument" vor, einem kleinen Apparat, den man wohl als erstes Pyknometer ansprechen darf. Er bestand aus einem kegelförmigen Gefäße mit einem zylindrischen Halse von solcher Weite, daß man den kleinen Finger bequem hineinstecken konnte. Etwa im untern Drittel mündete in den Hals ein nach unten gekrümmtes engeres Röhrchen mit vielfach durchlöcherter Wand, durch welches das in das konische Instrument eingefüllte Wasser so weit ausfließen kann, daß es immer bis zur nämlichen Höhe darin steht. Die Durchlöcherung soll verhüten, daß Wasser in dem Ausflußrohr hängen bleibt und allmählich ausfließt. War auf diese Weise das konische Gefäß bis zu bestimmter Höhe mit Wasser gefüllt, so wurde der Körper, dessen spezifisches Gewicht festgestellt werden sollte, nachdem er gewogen war, hineingeworfen, das dabei ausfließende Wasser in einer flachen Schale aufgefangen und ebenfalls gewogen. So erhielt Al Bêrûnî die zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes notwendigen Werte. Dabei entging es ihm nicht, daß die Dichte des Wassers mit der Temperatur geringer wird, und die uns aufbewahrte Beobachtung, daß der Unterschied in der Dichte heißen und kalten Wassers 0,041677 betrug, läßt ein günstiges Urteil über die Genauigkeit seiner Versuche fällen, wenn man bedenkt, wie wenig Hilfsmittel für genaue Temperaturbestimmungen ihm zu Gebote standen. Einige der von ihm erhaltenen Zahlen sollen im Anschluß an die von Al Châzinî gefundenen sogleich mitgeteilt werden.

Dieser erhielt sie mit Hilfe von Wagen, deren Konstruktion ihm so vortrefflich erschien, daß ihnen zu Ehren die Schrift, die ihre Einrichtung beschreibt und über ihren Gebrauch berichtet, den oben bereits angeführten Titel der Wage der Weisheit erhalten hat. Sie enthält die Beschreibung dreier Wagen, die erste, die gemeine einfache Wage ist eine gewöhnliche zweiarmige Hebelwage, deren eine Wagschale auf dem mit einer Teilung versehenen Arm etwas verschoben werden konnte. Waren beide Wagschalen fest, so war an dem geteilten Wagebalken ein verschiebbares kleines Gewicht angebracht. Man wird nicht fehlgehen, wenn man vermutet, daß beide Einrichtungen den Zweck hatten, zu bewirken, daß bei leeren Schalen die Wage genau einspielte. Um dies mit aller Schärfe beurteilen zu können, spielte die zum Zeiger ausge-

[1]) E. Wiedemann, Arabische spezifische Gewichtsbestimmungen. Wied. Ann. 1883, Bd. 20, S. 539; Verhandlungen der deutschen physikalischen Gesellschaft 1908. Jahrg. X, S. 339.

bildete Zunge vor einer Teilung in der nämlichen Weise, wie es noch gegenwärtig bei feinen chemischen Wagen üblich ist. Mit der zweiten Wage, der Wage mit der beweglichen Schale, wie sie Al Châzinî nannte, sollten spezifische Gewichte bestimmt werden. Sie war zu diesem Zweck mit drei Schalen versehen, von denen zwei die gewöhnliche halbkugelige Form hatten, während die dritte unter einer von den beiden angebracht wurde und kegelförmig gestaltet war, um beim Eindringen in das Wasser einen geringeren Widerstand zu leisten, als die Halbkugelform mit sich gebracht haben würde. Es war diese die Wasserschale. Für die spezifische Gewichtsbestimmung wurde der Körper zunächst in der oberen Schale in der Luft, dann in der unteren im Wasser gewogen, und so der gesuchte Wert in kürzester Zeit mit der Genauigkeit erhalten, welche die Wage zuließ. Sie recht weit zu treiben, war die Bestimmung der dritten Wage Al Châzinîs, der eigentlichen Wage der Weisheit. Sie besaß nicht weniger als fünf Schalen, von denen drei beweglich, die beiden andern fest waren. Der Wagebalken war aus Bronze oder Eisen verfertigt, mit einer Teilung versehen, und hatte eine Länge von vier Bazar-Ellen oder 2 m. Ob er auf einer Schneide oder Spitze ruhte, wird nicht mitgeteilt, da aber die Wageschalen, wie die von Al Châzinî hinterlassenen Abbildungen zeigen[1]), an einem mit seiner Spitze auf dem Wagebalken ruhenden, herzförmigen Bügel hingen, so werden wir annehmen dürfen, daß auch auf die Aufstellung des ganzen Wagebalkens große Sorgfalt verwendet worden ist. Der das Gleichgewicht angebende Zeiger bildete eine zweischneidige Klinge, welche mittels zweier Schrauben an den Wagebalken angeklemmt wurden, nachdem dessen Schwerpunkt bestimmt worden war. Über die Art der Verwendung seiner Wage spricht sich Al Châzinî folgendermaßen aus: „Nachdem wir die beiden äußersten Schalen und die Wasserschale in das Gleichgewicht gebracht haben, setzen wir die beiden beweglichen Schalen an die beiden Punkte des Wagebalkens, welche die spezifischen Gewichte von den beiden zu wiegenden Metallen anzeigen, oder eine von ihnen an den Punkt, der das spezifische Gewicht des Edelsteins und die andere an den Punkt, der das spezifische Gewicht der Nachbildung eines Kristalles oder des Glases angibt. Dann wägen wir die Körper mit der größten Genauigkeit in der Luft, hierauf im

[1]) Die Abbildungen der Wagen finden sich in Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 71, auch in Ibel, Die Wage im Altertum und Mittelalter. Erlangen 1908, S. 128.

Wasser, nehmen die Gewichte aus der Wagschale rechts und bringen so die Wage ins Gleichgewicht." Die Wagschale mit der Wasserschale darunter befand sich links, die rechts herausgenommenen Gewichte gaben also ohne weiteres den Gewichtsverlust. Die beweglichen Schalen dienten wohl nur zu rasch anzustellenden Feststellungen eines Metalles oder einer Legierung durch Bestimmung des spezifischen Gewichtes, der Richtigkeit von Münzen oder der Unterscheidung eines Edelsteines von seiner Nachbildung durch das nämliche Mittel. Al Châzinî gibt an, daß seine Wage bei einer Belastung von 2,2 kg noch 0,06 g angezeigt habe[1]); eine Vergleichung der mittels seiner Wage erhaltenen spezifischen Gewichte mit der jetzt angenommenen, läßt diese Angabe als durchaus glaubwürdig erscheinen. Es zeigt dies die folgende Tabelle, in der nach den Mitteilungen von E. Wiedemann[2]) auch die Angaben, die Al Bêrûnî mit dem konischen Instrument erhielt, eingereiht sind. Die für Metalle aufgenommenen sind aus den arabischen Angaben berechnet, entweder indem sie auf das spezifische Gewicht des Goldes oder auf das des Quecksilbers bezogen worden sind, ebenso sind die für die Edelsteine mitgeteilten auf das spezifische Gewicht des Smaragdes oder des Bergkristalls bezogen. Die weiteren Spalten geben Al Châzinîs Zahlen für das spezifische Gewicht und die jetzt als gültig angesehenen, die ersteren sind nach Khanikoff vervollständigt.

In Al Châzinîs Mitteilungen interessiert namentlich seine genaue Kenntnis der Abhängigkeit des spezifischen Gewichtes des Wassers von der Temperatur und er bemerkt infolge davon, daß seine Wage das geringere Gewicht des Wassers im Sommer, das größere im Winter angibt. Ob er den Vorschlag, den Ausschlag der Wage, an deren einem Arm eine ins Gleichgewicht gebrachte Klepsydre hing, die sich langsam entleerte, zur Zeitbestimmung zu benutzen, wirklich ausgeführt hat, dürfte billig zu bezweifeln sein. Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten bediente er sich auch eines Aräometers, welches sich von dem der Alexandriner nicht unterschied. Es bestand aus einem Messingrohr von einer halben Elle ($^1/_4$ m) Länge und zwei Fingerbreiten im Durchmesser. Sein eines Ende war durch ein Stück Zinn soweit be-

[1]) E. Wiedemann, Über das Experiment im Altertum und Mittelalter. Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften 1906, Jahrg. XII, S. 76.

[2]) E. Wiedemann, Arabische spezifische Gewichtsbestimmungen. Wiedemanns Annalen 1883, Bd. 20, S. 539.

schwert, daß es bis zur Mitte, bis zum „Äquator", einsank, eine zu beiden Seiten des Äquators aufgetragene Teilung erlaubte das spezifische Gewicht von Flüssigkeiten, mochten sie nun leichter oder schwerer als Wasser sein, abzulesen.

Namen der Stoffe	Spezifisches Gewicht			Nach neueren Bestimmungen
	nach Al Bêrunî, wenn richtig		nach Al Chazînî	
	Gold	Quecksilber		
Gold	(19,26)	19,05	19,05	19,26
Quecksilber	13,74	(13,59)	13,56	13,59
Kupfer	8,92	8,83	8,66	8,85
Messing	8,67	8,58	8,57	8,4 ca.
Eisen	7,82	7,74	7,74	7,79
Zinn	7,22	7,15	7,32	7,29
Blei	11,40	11,29	11,32	11,35
	Smaragd	Bergkristall		
Saphir	3,91	3,76	3,96	3,90
Rubin	3,75	3,60	3,58	3,52
Smaragd	2,73	2,62	2,60	2,73
Perle	(2,73)	2,62	2,60	2,75
Karneol	2,60	2,50	2,56	—
Bergkristall . . .	2,53	(2,58)	—	2,58
Süßes Wasser . .	—	—	1,00	1,00
Heißes Wasser . .	—	—	0,958	0,9597
Eiswasser	—	—	0,965	0,9999
Seewasser	—	—	1,041	1,027
Olivenöl	—	—	0,920	0,91
Kuhmilch	—	—	1,110	1,04 bis 1,42
Menschenblut . .	—	—	1,033	1,045 bis 1,075

Ebenso wie nun ein Körper, der in Wasser eingetaucht wird, an Gewicht verliert, so muß das gleiche stattfinden, wenn er sich in Luft befindet. Bringt man also einen Körper aus dünnerer in dichtere Luft, so vermindert sich sein Gewicht und umgekehrt. Da nun mit der Annäherung an das „Zentrum der Welt" die Dichtigkeit der Luft zunimmt, an der Erdoberfläche die Luft also dichter ist, als in größerer Höhe, so ergibt sich die Folgerung: „Das Gewicht irgendeines schweren Körpers, der in einer bestimmten Entfernung vom Zentrum der Welt ein bekanntes Gewicht hat, verändert sich gemäß der Veränderung seiner

Entfernung von diesem Zentrum, so daß, so oft er von diesem entfernt wird, seine Schwere sich vergrößert, im umgekehrten Falle aber verkleinert. Deswegen ändert sich die Schwere eines Körpers im direkten Verhältnis seiner Entfernung vom Zentrum der Welt." Aus diesem Ausspruch aber den Schluß zu ziehen, daß er auf die Annahme einer Schwerkraft deute, wie Khanikoff tut, ist schon aus dem Grunde nicht statthaft, da ja dann doch die Schwere mit der Entfernung hätte abnehmen, aber auf keinen Fall zunehmen müssen. Das absolute Gewicht des Körpers bleibt vielmehr ungeändert. Ein mit Flüssigkeit bis an den Rand gefülltes Gefäß aber ist in der Nähe des Zentrums der Welt, d. i. des Erdmittelpunktes, schwerer als in größerer Entfernung von ihm. Denn da die Oberfläche der Flüssigkeit die Form einer Kugel hat, so muß sie in größerer Nähe ihres Mittelpunktes stärkere Krümmung zeigen, also hier in dem nämlichen Gefäße mehr Flüssigkeit enthalten, dieses also von größerem Gewichte sein als in größerem Abstande. Durch den Versuch ließ sich diese Folgerung freilich nicht bestätigen, doch hat sich noch Roger Baco alle Mühe gegeben, sie zu beweisen[1]). Da nun Al Châzinî aber die Oberflächenspannung am Quecksilbertropfen bemerkt hat, so könnte man daran denken, daß deren Beobachtung ihn auf die Annahme der stärkeren Krümmung der Oberfläche im Gefäß geführt habe. Dem ist aber nicht so, vielmehr deutete er dies Verhalten von Quecksilbertröpfchen, auf welche sich seine Beobachtung beschränkte, auf ganz andere Weise. „Das Quecksilber besteht aus wässerigen Teilen," sagt er in seiner Kosmographie, „die mit feinen schwefeligen Teilen innig gemischt sind, so daß man nicht die einen von den anderen zu unterscheiden vermag. Um dieselbe befindet sich eine Haut von Staubteilchen; wird ein Tropfen mit einem anderen in Berührung gebracht, so öffnet sich die Haut, und die beiden Tropfen werden ein einziger. Die Haut umhüllt ihn in derselben Weise, wie wenn ein Wassertropfen auf Staub fällt. Er bleibt dann eine Kugel und diese ist von erdigen Teilen umhüllt. Oft trifft ein solcher Tropfen einen anderen. Dann vereinigen sich ihre Hüllen, beide Tropfen werden ein einziger und beide umgibt eine Schale aus Staubteilchen." Eine solche Erklärung der so oft zu beobachtenden Erscheinung mußte sich bieten und ausreichend erscheinen zu einer Zeit, wo Gebers Auffassung der Ele-

[1]) E. Wiedemann, Inhalt eines Gefäßes in verschiedenen Abständen vom Erdmittelpunkte nach Al Châzinî und Roger Baco. Wied. Ann. 1890, Bd. 39, S. 319.

mente noch die allgemein angenommene war. Man wird auch nicht vergessen dürfen, daß bis in das vorige Jahrhundert hinein die Oberflächenspannung durch die Annahme eines die Flüssigkeit bedeckenden Häutchens erklärt wurde.

Den Begriff des spezifischen Gewichtes finden wir nach dem Mitgeteilten zuerst von arabischen Gelehrten klar ausgesprochen. Trotzdem haben wir keinen Grund, anzunehmen, daß sie ihn, selbständig entwickelt, und nicht von den Griechen übernommen haben. Denn die Erfindung des Aräometers setzte ihn doch voraus, und so war er von griechischen Gelehrten bereits deutlich vorgebildet, wenn auch vielleicht noch nicht scharf zum Ausdruck gebracht. So sind also auch hier die Araber ihren Vorgängern gefolgt und haben deren Gedanken weiter entwickelt. Die Originalität ist aber nicht ihnen, sondern den Griechen zuzusprechen.

Zu einem anderen Urteil führt auch der weitere Inhalt des Werkes, der die mechanischen Probleme behandelt, nicht. Er spricht gelegentlich der Betrachtung der Schwere und der Leichtigkeit der Körper den Satz aus, daß die erstere in geradem Verhältnis seiner Masse auf einen Körper wirkt, und den weiteren, daß die Geschwindigkeit, mit der sich ein Körper bewegt, gemessen wird durch das Verhältnis des zurückgelegten Weges zu der Zeit, in der er zurückgelegt wurde, ein Begriff, mit dem bereits Aristoteles operierte. Unter diesen Umständen wird man Rosenberger[1]) recht geben müssen, wenn er Khanikoffs Meinung, Al Châzinî habe bereits eine Idee von der Massenanziehung gehabt, zurückweist. Ihm ist die Schwere nur ein statischer Druck, der die Körper nach dem Zentrum der Welt streben und einfach zur Ruhe kommen läßt, sobald sie es erreicht haben sollten. Nach einem etwaigen Grund dieser Erscheinung zu fragen, aber kommt ihm gar nicht in den Sinn.

Al Châzinî ist der letzte der experimentierenden Forscher arabischen Stammes, der letzte von ihnen, dessen die Geschichte der Physik gedenken muß, ist er aber nicht. Das ist Ibn Roschd oder Averroes, wie er von den späteren Schriftstellern meist genannt wird. Ist es doch hauptsächlich sein Einfluß gewesen, welcher der aristotelischen Lehre die unumschränkte Herrschaft in der späteren Scholastik verschaffte. Philosophen mosaischen und muhammedanischen Bekenntnisses waren es gewesen, die die Lehre des Stagiriten dem Abendlande ver-

[1]) Rosenberger, Die Geschichte der Physik. Bd. I. Braunschweig 1882, S. 84.

mittelt hatten, je nach ihrer Denkweise hatten sie ihr einen besonderen Charakter aufgedrückt. „Der reine Aristotelismus," schildert Laßwitz[1] diese Verhältnisse, „ist durch sie (die jüdischen und arabischen Philosophen) hauptsächlich im Interesse des Monotheismus umgestaltet, teils mit neuplatonischen Elementen versehen, teils durch die naturalistische Neigung des arabischen Geistes jenem Gedankenkreise näher gerückt worden, welcher in der Neuzeit die Entstehung der Naturwissenschaft ermöglichte." Und an einer anderen Stelle sagt er[2]): „Wo die jüdische Weltanschauung zu selbständiger Philosophie vorschreitet, finden wir die pantheistische Neigung, so bei Ibn Gabirol, von welchem Duns Scotus seine Anregung empfing, und so später bei Spinoza. Wo der Islam seinen Einfluß geltend macht, zeigt sich ein materialistischer Zug; so im Peripatetismus des Ibn Sina und besonders des Ibn Roschd."

β) Averroes.

Salomon ben Jehudi ben Gabirol, der Avicebron der Scholastiker, war 1020 in Malaga geboren und hat durch diese einen bedeutenden, wenn auch eben nicht fördernden Einfluß auf die Entwicklung der Physik im späteren Mittelalter gehabt. An Bedeutung steht er freilich weit zurück hinter Averroes oder Muhammed Abul Walid ben Achmed ben Roschd. Seine Landsleute bewunderten in ihm den besten Kenner muhammedanischen Rechtes, seine unter dem Titel Colliget herausgegebene Arzneilehre genoß dieselbe Achtung wie die als Servitor bekannte des 1122 in Zahara bei Cordova geborenen Abul Casim al Zahraawis, auch Abulcases oder Alzaharavius genannt, der als Arzt großen Ruf genoß und die Destillation zur Herstellung von Arzneimitteln und wohlriechenden Wassern anwandte[3]). Beide Bücher sind im 15. bis 17. Jahrhundert immer wieder aufgelegt und viel benutzt worden. Aber auch astronomische Beobachtungen stellte Averroes an; seinen Hauptruhm aber verschafften ihm seine philosophischen Schriften. Sie schlossen sich rückhaltlos an die aristotelische Lehre an, stellten diese aber in so imponierender Weise dar, daß die Scholastiker in ihrem Verfasser Ari-

---

[1]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Bd. I. Hamburg und Leipzig 1890, S. 157.

[2]) Ebenda, S. 160.

[3]) Kopp, Geschichte der Chemie. Teil I. Braunschweig 1843, S. 57.

stoteles und Hipparch in einer Person erblicken zu müssen glaubten.

Averroes war 1126 in Cordova geboren und starb 1198 in Marokko in der Verbannung. Lange Zeit bei dem Kalifen in großer Gunst stehend, war er der Religion gegenüber, deren wesentliche Aufgabe er in der Erfüllung der sittlichen Forderungen sah, sehr selbständig aufgetreten, und hatte dadurch das Mißfallen der orthodoxen muhammedanischen Geistlichkeit erregt, der es gelang, ihn vom Hofe zu vertreiben. Zwar wurde er kurz vor seinem Tode aus der Verbannung zurückgerufen, aber es blieb ihm keine Zeit mehr, von dieser Aufforderung Gebrauch zu machen. Seine Verehrung für Aristoteles war unbegrenzt, er hat seine Schriften eingehend, einige sogar in dreifacher Weise kommentiert. Aber er konnte nicht lediglich bei deren Inhalt stehen bleiben, die fortgeschrittenen Zeiten verlangten auch mannigfache Abänderungen. Die letzten Prinzipien sind nach Averroes Form und Materie. Beide sind ewig, wie Gott, der Weltenbeweger. Nicht der Weltenschöpfer, denn er vermag weder neue Materie noch neue Formen zu erschaffen, sie sind ewig, wie er selbst, und in der Materie sind die Keime aller Formen angelegt. Wohl aber kann er die vorhandenen Formen zu neuen höheren Formen ordnen, und so hat hier „das aristotelische System der substanziellen Formen eine Wendung zu einheitlicher Weltauffassung bekommen, welche der Entwicklung einer allgemeinen Theorie der Natur nur günstig sein konnte.“[1]) Dazu hat denn auch die Weltanschauung des Averroes in nicht geringem Maße beigetragen. Sie ist nie wieder aufgegeben worden. Denn da die von Ewigkeit vorhandenen Formen nur in immer neuer Gestalt wiederkehrten, so ergab sich die weitere Entwicklung von selbst. „Die Formen werden zu Kräften, der Weltbeweger wird beiseite geschoben und die Ewigkeit von Stoff und Kraft macht den Wechsel des Weltenlaufes aus.“[2]) Da nun die der Körperwelt eigentümlichen Formen solche sind oder sich unter ihnen doch solche befinden, die für unseren Geist erfaßbar sind, so wird die Entfremdung zwischen Mensch und Natur aufgehoben, zu der namentlich die herrschende Theologie den Menschen verdammt hatte, und so bereitete die Lehre des Averroes die Wiedererweckung der Naturwissenschaften auf das wirksamste vor. Der Neuplatonismus hatte der Materie eine gänzlich unter-

[1]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Bd. I. Hamburg und Leipzig 1890, S. 171.
[2]) Ebenda, S. 172.

geordnete Stellung angewiesen, die zur Beschäftigung mit ihr, zur Erforschung ihres Wesens wenig einlud, nun erschien sie als der Belebung fähig, da sie alle die möglichen Formen, die auch im Menschen enthalten sind, birgt. Es wird also möglich sein, einen Einblick in ihr eigentliches Sein zu gewinnen, und so wird durch diese Anschauung die mechanische Weltanschauung vorbereitet, die wiederum von der aristotelischen Ansicht zur Atomistik die Brücke bildet. „So führt die Philosophie der Araber in ihrer glänzendsten Entwicklung auf eine Würdigung derjenigen Forschung, in welcher sie selbst bereits Bedeutendes geleistet hatten, der Naturwissenschaft. Von allen arabischen Philosophen hat Ibn Roschd am sichtbarsten und wirksamsten die aristotelische Philosophie mit der eigentümlichen Richtung des arabischen Geistes auf Welterkenntnis zu verschmelzen gewußt und dadurch ein neues Lebenselement dem Abendlande zugeführt, die Wertschätzung der Naturwissenschaften."[1])

Wenn nun auch mit Averroes die eigentlich schöpferische Methode der arabischen Wissenschaft ihren Abschluß fand, so hörte deshalb in maurischen Landen die Beschäftigung mit der Wissenschaft nicht auf einmal auf. Dafür sorgten schon die in deren Blütezeit ins Leben gerufenen Akademien, und namentlich war es die Astronomie, die durch deren Mitglieder und Zöglinge noch für lange Zeit mit Eifer betrieben wurde. War doch durch die Vorzeit der Weg für weitere Beobachtungen gebahnt, diese aber erwiesen sich als nötig, um das Errungene festzuhalten, um die Genauigkeit und Brauchbarkeit des Beobachtungsmateriales immer noch zu steigern. So sehen wir in Marokko den Zeitgenossen von Averroes Al Batraki, lateinisch Alpetragius, bemüht, das System des Aristoteles gegenüber dem von Ptolemaios wieder in alleinige Annahme zu bringen, sehen im 13. Jahrhundert Abû'l Hasan ʿAlî sein Buch über astronomische Instrumente schreiben, das 1834 Sedillot herausgab[2]), während um dieselbe Zeit auch große astrologische Werke, wie z. B. das des Alcabitius, entstanden, der aber auch zu den 50 Gelehrten verschiedener Konfession gehörte, welche in der Mitte des 13. Jahrhunderts im Auftrage des Königs Alfons X. von Kastilien die nach dem letzteren genannten Tafeln ausarbeiteten. Um dieselbe Zeit entstanden auf der im Nordwesten gelegenen Sternwarte von Marâga

---

[1]) Ebenda, S. 173. — [2]) Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877, S. 72.

die Ilchânischen Tafeln. Diese Warte im fernen Osten war von dem Mongolenfürsten Hûlagû, der 1258 Bagdad erobert hatte, auf Drängen des 1201 in Tûs geborenen Abû Ga'far Muhammed ibn Hasan al Tusî, mit dem Beinamen Nasîr al Dîn, d. i. Beistand der Religion, unter dem er bekannter geworden ist, gegründet[1]) und gab als Ergebnis zwölfjähriger Arbeit vieler Astronomen die nach dem Gründer der Sternwarte genannten Ilchânschen oder Ilekkhanischen Tafeln heraus, die als eine Neubearbeitung der Haremitischen aufzufassen sind. Nasîr al Dîn aber war auch auf anderen, namentlich auf mathematischem Gebiete tätig, und bis in die Mitte des 15. Jahrhunderts blieb die gegebene Anregung lebendig, in welcher Zeit der 1394 geborene, 1449 gestorbene Sohn und Mitregent des Schah Rock Behadur, Prinz Mirza Mohammed ben Sahroh Ulug Begh, in Samarkand eine Sternwarte gründete, die unter anderem wichtige Planetentafeln herausgab. Es sei dies hier erwähnt, da später keine Gelegenheit sein wird, darauf zurückzukommen. Neben astronomischen Arbeiten liegen auch noch eine Reihe solcher mathematischen Inhaltes aus späterer Zeit vor, das Interesse war jedoch mit der Mitte des 12. Jahrhunderts erloschen.

So war die Zeit des Averroes die letzte, in der wir arabische Gelehrte am Fortschritte der Wissenschaft mitarbeiten sehen. Nach einer von Ibn al Qiftî aufbewahrten Erzählung[2]) war es religiöse Bigotterie, die sie in andere Bahnen drängte. Aber wenn ihr Arbeitstrieb auch erlahmt war, ihr Werk sollte nun in den Händen abendländischer Forscher noch lebendig weiter wirken. „Mit dem Eindringen der arabischen Kultur im Abendlande und den allmählichen Regungen des naturwissenschaftlichen Interesses" — wir machen diese Worte von Laßwitz[3]) zu den unsrigen — „hat sich ein Wendepunkt in der Entwicklung der Wissenschaften eingestellt. Neben der Herrschaft der aristotelischen Metaphysik beginnen sowohl Mathematik als empirisches Naturwissen neue Anregungen zu bieten." Die christlichen Forscher nahmen sie in

---

[1]) Ebenda, S. 73. Siehe auch Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. Leipzig 1880, S. 669 und E. Wiedemann, Eders Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik 1907.

[2]) E. Wiedemann, Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften 1906. Jahrg. XII, S. 76.

[3]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Bd. I. Hamburg und Leipzig 1890, S. 175.

treuer Arbeit vorwärtsstrebend in sich auf und bereiteten, sich von den mitüberlieferten Vorurteilen mehr und mehr befreiend, die Wiedergeburt der Naturwissenschaften vor, die der Wiedergeburt, der Renaissance, der Geisteswissenschaften bald genug folgte.

3. Zeitalter der Scholastik.

a) Nominalisten und Realisten.

Es war eine weise Vorsorge des großen Karl gewesen, daß er den Klöstern die Pflege der Wissenschaften zur Pflicht gemacht hatte. Nur in dem sicheren Schutz ihrer Mauern war es möglich, bei den stets kriegerischen Zeitläufen der auf das seinige folgenden Jahrhunderte, sich wissenschaftliche Bildung zu erwerben, sie durch Fortarbeiten zu erweitern. Für die Naturwissenschaften und die Philosophie brachten diese Verhältnisse aber auch Gefahren mit sich, denn die Klosterinsassen waren Geistliche, ihr eigentlicher Beruf waren Religionsübungen, und so entstand bald mit Notwendigkeit eine Herrschaft der Theologie über die übrigen Wissenschaften; alle Bestrebungen gingen darauf hinaus, die Kirchenlehre in ein wissenschaftliches System zu bringen. Der erste der eine solche Dogmatik verfaßte, war Peter von Novara, Petrus Lombardus, der, nachdem er eine Zeitlang Bischof von Paris gewesen war, 1164 in England starb, der Magister sententiarum, wie er nach den von ihm verfaßten vier Büchern der Sentenzen genannt wurde. Solche Bestrebungen waren aber nicht ohne einen beträchtlichen Aufwand von Dialektik möglich, und mit dem Aufschwung dieser beginnt die Richtung, die die Geschichte der Philosophie die eigentliche Scholastik, die Scholastik im engern Sinne, nennt. Kraftvolle Päpste, wie Silvester II., der bereits erwähnte Gerbert, und der Gegner Kaiser Heinrich IV., Hildebrand, der als Gregor VII. den päpstlichen Stuhl bestiegen hatte, gaben der Kirche die gewünschte Richtung, letzterer namentlich auch dadurch, daß er mannigfache in ihr eingerissene Mißbräuche beseitigte. Insbesondere war es dann der Bischof von Canterbury Langfrank, der dort eine vielbesuchte Schule stiftete und so zu immer größerer Verbreitung dialektischer Studien beitrug. Sein Schüler war der 1034 geborene Anselm von Canterbury, der seinem Lehrer in dessen geistlicher Würde folgte und 1109 als Erzbischof gestorben ist.

Er vor andern gab der Scholastik ihre Richtung, die er in die Worte: Credo, ut intelligam zusammenfaßte.

Bald aber traten bei den Vertretern der abendländischen Wissenschaft tiefgehende Meinungsverschiedenheiten auf, die freilich nicht ihren Grund auf religiösem, sondern auf philosophischem Gebiete hatten. Es war der Streit der Nominalisten und Realisten, der sich fast durch den ganzen Zeitraum, in dem die Scholastik ihre Herrschaft behauptete, hindurch zieht. Es handelte sich dabei um die Frage, ob die allgemeinen Begriffe, die sog. Universalien, etwas Reales bezeichnen, oder ob sie nur zusammenfassende Ausdrücke für die gemeinsamen Einzelwesen sind, die also nur in unserem Denken, nicht in der Wirklichkeit vorhanden sind. Platon hatte den letzten Gedanken vertreten, im Grunde auch Aristoteles, obwohl er Platon in dieser Beziehung bekämpft hatte, wenn er in der Form eines jeden Dinges das eigentlich ihm zugrunde liegende Wirkliche gesehen hatte. Die Zyniker aber, wie später die Stoiker und Epikureer, leugneten die Realität der Universalia. Durch den Neuplatoniker Porphyrius hatten die Scholastiker Kunde von diesen Gegensätzen erhalten. Sie hatten sie in sich aufgenommen, und während der Zeit des Bestehens der Scholastik dauerten sie fort. Anfangs, als die Lehre Platons noch in höchster Achtung stand, überwog die Zahl der strengen Realisten, deren Wahlspruch war Universalia ante rem; als dann die Lehre des Aristoteles immer mehr zur Herrschaft kam, und um die Mitte des 13. Jahrhunderts hatte sie die platonische gänzlich verdrängt, trat an jener Stelle mehr und mehr eine vermittelnde Richtung, welche mit dem Wahlspruch Universalia in re zwar die Realität der allgemeinen Begriffe annahm, aber sie als nur in der Gesamtheit der unter ihnen begriffenen Einzelwesen vorhanden ansehen wollte. Mit der Bekanntschaft des Inhaltes der naturwissenschaftlichen Schriften des Stagiriten, die die Araber vermittelten, mit der Verbreitung der eigenen Arbeiten der letzteren gewann der Nominalismus, der den Spruch Universalia post rem auf seine Fahne schrieb, immer mehr an Verbreitung, und mit ihm begann sich die empirische Naturerkenntnis zu entwickeln. Diesen Bestrebungen wurde freilich bald genug die unumstößlich gewordene Autorität des Stagiriten ein Hindernis. Wie sich schon bei Besprechung der Pflege der Naturwissenschaft bei den Arabern herausgestellt hat, erwies sich seine Lehre durch ihren Gegensatz gegen die Atomistik als der Annahme eines freien göttlichen Wirkens besonders günstig, und

so kam es dahin, daß ein Abfall von ihr einem Abfall von der Kirche gleichgeachtet wurde. Da es nun meistens Geistliche waren, die sich mit der Naturwissenschaft beschäftigten, so waren sie der Gefahr ausgesetzt, das Mißfallen der geistlichen Vorgesetzten dadurch zu erregen, wenn sie Aristoteles' Lehre entgegentraten. Nicht allen den Forschern, deren Arbeiten das Zeitalter der Scholastik zu einem geschichtlich bedeutsamen gemacht haben, ist es gelungen, diese Gefahr zu vermeiden, aber es darf nicht verkannt werden, daß es weniger die Ergebnisse ihrer Beschäftigung mit den Wissenschaften gewesen sind, die ihnen zum Nachteile gereichten, ja ihnen Kerkerhaft eintrugen, daß es vielmehr die von ihnen aufgestellte Forderung eines sittlich reineren Lebenswandels der Geistlichen war, die diese Wirkung hatte.

b) Jordanus Nemorarius.

Mechanik, Chemie und Optik waren die Gebiete, auf denen die im 13. Jahrhundert lebenden Scholastiker sich einen ruhmvollen Platz in der Geschichte der Physik eroberten. Mit der an erster Stelle genannten Wissenschaft beschäftigte sich der wahrscheinlich älteste Forscher dieses Zeitraums, beschäftigte sich Jordanus Nemorarius. Der wahrscheinlich älteste! Denn weder seine Lebenszeit noch seine Herkunft stehen mit Sicherheit fest. Man wußte zunächst nur von seinen Schriften, von denen sich vier, die Elemente der Arithmetik behandelnden in Abschriften oder Bearbeitungen aus dem 13., 14. und 15. Jahrhundert auf der Nationalbibliothek in Paris befinden[1]). Hier heißt er stets Jordanus de Nemore, während Apian den Liber Jordani Nemorarii clarissimi de ponderibus 1533 herausgab[2]). Damals war also der Name Nemorarius bereits gebräuchlich und ist es auch geblieben. Nun war 1221 ein anderer Jordanus, der den Beinamen Saxonius trägt, zum General des Dominikanerordens gewählt worden, über dessen Lebensverhältnisse einiges wenige bekannt ist. In einer vom Fürst Boncompagni in Rom herausgegebenen Chronik des Dominikanerordens, die im 14. Jahrhundert Nikolaus Trivet[3]) verfaßte, heißt es nun von Jordanus Saxonicus, daß er zwei nützliche Bücher unter den Titeln De pondere und De lineis

[1]) Duhem, Les origines de la Statique. T. I. Paris 1905, S. 106, Anm. 1.
[2]) Curtze, Zeitschrift für Mathematik und Physik 1868, Bd. XIII, S. 91.
[3]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. 2. Aufl. Bd. II, S. 58.

datis geschrieben habe, Titel, die auch zwei Werke des Nemorarius tragen, und dazu stimmt die uns von dem Dominikaner Jakob von Soest in seiner 1420 verfaßten Chronik des Ordens aufbewahrte Bemerkung, jener Jordanus Saxonicus habe geometricalia delicata geschrieben. Man wird also wohl den deutschen Forschern, denen sich der Italiener Caverni[1]) anschließt, recht geben müssen, wenn sie den Saxonicus und den Nemorarius für ein und dieselbe Person erklären. Ist das der Fall, dann kennen wir sein Todesjahr 1237, wenn wir auch über seine Herkunft dadurch noch nicht klar werden. Denn nach den einen war Jordanus Saxonicus aus dem Geschlechte der Grafen Eberstein, nach den anderen aus dem derer von Drach, und so geben die einen als seinen Geburtsort Borgentreich, das damalige Borrentriek bei Warburg im Paderbornschen, die anderen Dassel in der Diözese Hildesheim als seinen Geburtsort an. Gegen diese Schlußfolgerung erklären sich freilich die französischen Forscher, der Verfasser der „Universitäten des Mittelalters" Denifle[2]) und der mehrerwähnte Duhem, welcher letztere die wohl etwas willkürlich herbeigezogene Annahme vertritt, daß ebenso wie der Königsberger Müller sich Regiomontanus, wie sich Lefèvre d'Etaphes Faber Stapulensis genannt habe, so Jordanus die Bezeichnung de Nemore von seinem Geburtsort, dem italienischen Dorfe Nemi, hergeleitet haben möchte[3]). Wenn aber der Verfasser der Geschichte der Statik die Ansicht ausspricht, Cantor habe ein Urteil über die Identität von Jordanus Saxo und Jordanus Nemorarius zurückgehalten[4]), so dürfte dies nicht zutreffen, da Cantor den Namen Nemorarius aus der Annahme zu erklären geneigt ist, daß „Jordanus' Wiege in den Wäldern des Eggegebirges" bei Borrentrick gestanden habe[5]). Nach alle diesem scheint es nicht möglich, mit aller Sicherheit Lebenszeit und Lebensverhältnisse des Jordanus festzustellen, doch wird man als die wahrscheinlichere Annahme die zu bezeichnen haben, die den

---

[1]) Caverni, Storia del metodo sperimentale in Italia. Bd. IV, 1895, S. 21.

[2]) Curtze, Mitteilung des Kopernikus-Vereins für Wissenschaft und Kunst zu Thorn 1887. Einleitung S. IV.

[3]) Duhem, Les origines de la Statique. T. I. Paris 1905, S. 107.

[4]) Ebenda, S. 105.

[5]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. 2. Aufl. Leipzig 1899, Bd. II, S. 57.

Saxo und den Nemorarius für eine Person hält und demgemäß annimmt, daß er aus einem vornehmen norddeutschen Geschlechte stammte und im 13. Jahrhundert gelebt hat, und daß seine Schriften sich über mathematische, astronomische und physikalische Probleme erstreckten.

Von ihnen werden uns hier hauptsächlich die physikalischen beschäftigen. Sie behandeln in origineller Weise nur die Mechanik, denn die unter dem Titel: De speculis in der Bodleyanischen Bibliothek zu Oxford vorhandene[1]), über deren Inhalt bisher nichts mitgeteilt ist, enthält, wie aus einer amplonianischen Handschrift in Erfurt hervorzugehen scheint, nur die Optik des Eukleides[2]). Mit dem Hebel und der schiefen Ebene beschäftigt sich dagegen des Jordanus Schrift: De ponderibus. Aber seit dem 13. Jahrhundert führte man mindestens drei Schriften unter diesem Namen auf, die voneinander verschieden waren, wenn auch augenscheinlich eine nicht zu leugnende Verwandtschaft zwischen ihnen bestand. Den ältesten, leider unvollständigen Text, der aus dem 13. Jahrhundert stammt, besitzt die Bibliothek Mazarin, zwei weitere um 200 Jahre jüngere finden sich auf der Nationalbibliothek in Paris[3]). Ihnen folgt 1533 der von Apian herausgegebene, an den aber einige Sätze aus dem Canonio angeschlossen sind; er ist nach Duhems[4]) Hypothese ein Buch der Übersetzung eines verlorenen Werkes von Ptolemaios, die Thabît ben Kurrah hergestellt hatte. Da nun in den meisten der anderen Manuskripte entweder auf die dem Eukleides fälschlich zugeschriebene Schrift de ponderibus hingewiesen oder sie als beigefügt angegeben ist, diese aber nichts anderes als des Aristoteles Ansichten enthält, so kommt Duhem zu der Annahme, daß jene Verbindung von Jordanus herrührt, und daß es seine Absicht war, eine Einleitung zu dem Canonio zu schreiben[5]). Wenn er nun aber auch unter dem Einfluß der peripatetischen Lehre stand, so hat er sie doch durchaus selbständig durchdacht, ja in solcher Weise weitergebildet, daß man in seinen Arbeiten zum ersten Male das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten wenigstens

---

[1]) Heilbronner, Historia matheseos universae. Lipsiae 1742, S. 604.

[2]) Curtze s. Cantor a. a. O., Bd. II, S. 60.

[3]) Duhem, Comptes rendus 1905. 2. Sem. T. 141, Nr. 13, S. 526; auch Les origines de la Statique. Paris 1908, S. 113 ff.

[4]) Duhem, ebenda, S. 93.

[5]) Duhem, ebenda, S. 126.

andeutungsweise ausgesprochen findet. Wir werden annehmen dürfen, daß die originelle Idee von ihm herrührt, daß dagegen sie durch seine Schüler und Kommentatoren vielfach wiederholt und in ihre Schriften aufgenommen worden ist. Die neuen Ideen aber waren sein Eigentum.

Bei der Betrachtung der schiefen Ebene legt Jordanus den Satz zugrunde, daß ein Körper, welcher verschieden geneigte, von einem Punkte ausgehende schiefe Ebenen durchfällt, „dieselbe Stärke des natürlichen Fallens hat, als wenn er die von dem Punkte aus gezogene Senkrechte durchfiel, deren unterster Punkt mit den untersten Punkten der schiefen Ebene in der nämlichen Horizontalen liegt“. Daraus leitet er dann den Satz ab, daß zwei von derselben Höhe auf verschiedenen schiefen Ebenen herabgefallene Körper gleiche Produkte aus Gewicht in Geschwindigkeiten (Bewegungsmomente nach jetziger Ausdrucksweise) besitzen, wenn sich ihre Gewichte, wie die Längen der zugehörigen schiefen Ebenen verhalten. Der Satz, auf den Jordanus seine den Hebel betreffenden Untersuchungen stützt, lautet nach Apians Ausgabe in Übersetzung folgendermaßen[1]): „Bei zwei beliebigen schweren Körpern ist die Geschwindigkeit im eigenen Herabsinken den in derselben Reihenfolge genommenen Gewichten proportional, das Verhältnis des Herabsinkens und der entgegengesetzt gerichteten Bewegung ist das nämliche, aber umgekehrte“. Wenn auch der Ausdruck etwas dunkel ist, so ist sein Sinn doch nicht zu verkennen und nach Duhem[2]) so zu fassen, daß dasjenige, was imstande ist, ein Gewicht zu einer bestimmten Höhe zu erheben, im stande ist, ein x mal größeres Gewicht auf eine x mal kleinere Höhe zu erheben. Um aus diesem Satz die Gleichgewichtsbedingung der Kräfte am Hebel abzuleiten, faßt Jordanus einen solchen mit dem längeren Arme ac und dem kürzeren cb zunächst in der horizontalen Gleichgewichtslage ins Auge, läßt ihn sich dann um den Punkt c drehen, so daß a nach d kommt oder um die senkrechte Höhe df gehoben ist, die man findet, wenn man von d auf die horizontale Lage acb eine Senkrechte fällt, b aber nach e um die ebenso gefundene Höhe eh sich senkt. Brächte man nun nach l in denselben Abstand vom Punkte c auf der Linie ab ein Gewicht an, welches die gleiche Größe, wie das von b hätte, und dieses käme in der abgelenkten Lage nach m zu liegen, so würde

---

[1]) Liber Jordani Nemorarii de ponderibus. Propositiones XIII. Herausgegeben von Peter Apian 1533, S. 6. Vgl. auch Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 78.

[2]) Duhem a. a. O., S. 122.

die von m auf ab gefällte Senkrechte mg gleich eh werden. Da alsdann die Dreiecke ceb und cda einander ähnlich sind, so muß sich df zu eh und also auch zu dem diesem gleichen mg, wie das Gewicht von b oder das von l zu dem Gewicht von a verhalten. Was also ausreichen würde, das Gewicht a nach d zu führen, würde l nach m bringen. Da nun aber die Gewichte b und l sich aufheben, so kann die angenommene, ebensowenig aber auch die entgegengesetzte Bewegung eintreten.

Das Altertum besaß das von Jordanus im Keime ausgesprochene Prinzip noch nicht, das seine volle Entwicklung erst in Lagranges analytischer Mechanik finden sollte. Wenn auch seinem Werke der von den Griechen abhängige Canonio anhängt, so kann deshalb seine Originalität nicht angezweifelt werden. Außer den hervorgehobenen inneren Gründen spricht dafür auch der ganz äußerliche aus der Reihenfolge der benutzten Buchstaben zu entnehmende. Hultsch hat darauf aufmerksam gemacht, daß die arabischen Übersetzungen oder Kommentare sowie die nach ihnen hergestellten lateinischen die Reihenfolge der Buchstaben nach dem griechischen Alphabet beizubehalten pflegen, während die angewendete Reihenfolge des lateinischen für unabhängige Arbeiten spricht. Eine solche ergibt sich aus den obigen Erörterungen, die Jordanus' Originalfigur entnommen worden sind[1]). Da mag denn auch noch hinzugefügt werden, daß nach Cantors[2]) maßgebendem Urteil des Jordanus Arithmetik dadurch zu einem bahnbrechenden Werke wird, daß in ihm durchgehends allgemeine Buchstaben statt besonderer bestimmter Zahlen benutzt werden.

Zu Jordanus' übrigen Arbeiten schien eine von dem Venezianer Verleger Curtius Trojanus 1565 aus dem Nachlaß Tartaglias herausgegebene Schrift wenig zu passen. Sie trägt den Titel: Jordani Opusculum de ponderositate, Nicolai Tartaleae studio correctum novisque figuris auctum. Text und Figuren aber erregten den Verdacht, daß beide durch mangelhaftes Verständnis der Kopisten bis zur Unkenntlichkeit entstellt sein möchten, und diesen Verdacht konnte Duhem[1]) zur Gewißheit erheben, als er in der Nationalbibliothek zu Paris mehrere Manuskripte des nämlichen Werkes fand, die nicht

---

[1]) Duhem a. a. O., S. 122.

[2]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. 2. Aufl. Bd. II. Leipzig 1899, S. 61, und Curtze, Zeitschrift für mathematische Physik 1891. XXXVI. historisch-literarische Abteilung, S. 1 ff.

[1]) Duhem a. a. O., S. 134.

später wie im 13. Jahrhundert kopiert sein konnten. Sie werden zwar als Werke des Jordanus aufgeführt. Da sie aber dessen Ideen verallgemeinern, auch in seinen Schriften enthaltene Fehler verbessern, endlich wesentlich Neues zufügen, so glaubt Duhem sie nicht diesem zusprechen zu sollen, sondern einem jüngeren Autor, den er den Vorgänger Lionardo da Vincis nennt. Wenn ja nun auch manches für diese Ansicht spricht, so ist der Beweis dafür doch keineswegs erbracht, und die Möglichkeit, daß Jordanus das ihm zugeschriebene Werk wirklich verfaßt habe, ist noch nicht von der Hand zu weisen.

Die Schrift faßt das Problem der schiefen Ebene nach Duhems Übersetzung folgendermaßen[1]): „Wenn zwei Gewichte über verschieden geneigte Wege herabfallen und die Gewichte direkt proportional den Neigungswinkeln sind, so werden diesen beiden Gewichten bei ihrem Fallen die nämlichen Kräfte zukommen." Beim Hebel aber beschränkt sie sich nicht auf den geradlinigen Hebel, vielmehr heißt es in ihr ebenfalls nach Duhems Übersetzung[2]): Wenn ein Winkelhebel in seinen Endpunkten ungleiche Gewichte trägt, so wird er sich so einstellen, daß die Abstände seiner Endpunkte von der durch den Unterstützungspunkt gezogenen Senkrechten im umgekehrten Verhältnis der in demselben Punkte aufgehängten Gewichte stehen. Bringt man diesen Satz in die jetzt gewohnte Fassung, so erhält man den anderen, daß die Wirkung eines am Ende irgendeines geneigten Hebels befindlichen Gewichts gemessen wird durch das Moment des Gewichtes in bezug auf die durch den Unterstützungspunkt gezogene Senkrechte. So ist in ihm der Begriff des Momentes vorgebildet, wenn auch Nemorarius das Wort noch nicht anwendet. Vielmehr redet er von der „gravitas secundum situs", von der von der Lage eines Körpers abhängigen Wirkung seines Gewichtes. Da diese aber von dem Abstand einer durch die Drehungsachse gelegten Senkrechten bestimmt wird, so bedurfte es nur einer mathematischen Formulierung, um den Begriff des Momentes zu erhalten. Wir werden sehen, daß es Galilei war, der dies Wort zuerst anwendete.

Wie nun das dem Jordanus zugeschriebene Werk die von diesem sicher herrührenden Sätze verallgemeinert und verbessert, so führt es auch die Grundsätze des Aristoteles über die Dynamik der Körper

---

[1]) Liber I. Propositio IX. — Ausgabe des Curtius Trojanus. Quaestio IX. Duhem a. a. O., S. 146.

[2]) Liber III. Propositiones I u. II. — Ausgabe des Curtius Trojanus. Quaestiones XXIII u. XXIV. Duhem a. a. O., S. 143.

nicht nur weiter aus, sondern gründet sie auch auf der fortgeschritteneren Anschauung besser entsprechende Ursachen. Indem wir auch hier wieder Duhems[1]) Angaben folgen, können wir die folgenden Ergebnisse anführen: Jedes Mittel setzt der Bewegung eines Körpers, welcher sich durch es hindurch bewegt, ein Hindernis entgegen[2]). Dieses Hindernis hängt in erster Linie von der Form des Beweglichen ab[3]), und ist geringer, wenn dieses spitz und glatt ist, als bei anderer Form und Oberflächenbeschaffenheit. In zweiter Linie wirkt auf seine Bewegung die Dichtigkeit des Mittels ein[4]), ein dichteres ist weniger leicht zu durchdringen als ein weniger dichtes, Wasser leistet größeren Widerstand als Luft. Jedes Mittel aber ist zusammendrückbar, die oberen Schichten eines Fluidums drücken auf die unteren, und diese sind deshalb dichter als jene[5]). Sie werden also der Bewegung auch ein größeres Hindernis entgegensetzen[6]). Am vorderen Ende des Beweglichen haftet eine gewisse Menge des komprimierten Mittels[7]), während sich andere von deren Teilchen, von dem Beweglichen verdrängt, in krummen Linien nach hinten begeben, um dort keinen leeren Raum entstehen zu lassen[8]). Die Bewegung der zur Seite gedrängten Teilchen kann der Spannung des Bogens verglichen werden; während die mittlere Partie eines Körpers unbeweglich ist, biegt ihn ein auf seine äußeren Teile ausgeübter Antrieb mit Leichtigkeit[9]). „Ein schwerer Gegenstand," so heißt es weiter[10]), „bewegt sich um so rascher, je länger er fällt. Dies zeigt sich augenfälliger in der Luft als im Wasser, denn die Luft ist für alle Arten von Bewegungen geeignet. Demnach zieht ein Schweres, welches fällt, das Fluidum, welches sich hinter ihm befindet, in seine erste Bewegung hinein und setzt das Fluidum, welches sich unter ihm in seiner unmittelbaren Berührung befindet, in Bewegung. Die mittleren, so in Bewegung gesetzten Teilchen, bewegen nun in solcher Weise die folgenden, daß diese, die schon in Bewegung gesetzt worden waren, dem fallenden Schweren ein geringeres Hindernis entgegensetzen.

---

[1]) Duhem a. a. O., S. 136 ff.

[2]) Ausgabe des Curtius Trojanus, Quaestio XXIX.

[3]) Ebenda, Quaestio XXXV. — [4]) Ebenda, Quaestio XXX.

[5]) Ebenda, Quaestio XXXIII. — [6]) Ebenda, Quaestio XXXII.

[7]) Ebenda, Quaestio XLII. — [8]) Ebenda, Quaestio XLIII.

[9]) Ebenda, Quaestio XLI.

[10]) Ebenda, Quaestio XXXIV. Nach der französischen Übersetzung Duhems ins Deutsche übertragen.

In der Tat wird es schwerer und verleiht einen stärkeren Antrieb den Teilchen des Mittels, welche ihm ausweichen, weil diese nicht nur einfach von ihm gestoßen werden, sondern weil sie es fortziehen. So kommt es, daß die Schwere des Beweglichen durch ihren Zug verstärkt wird und daß umgekehrt ihre Bewegung durch diese Schwere wächst, so daß diese Bewegung fortwährend die Geschwindigkeit des Schweren verstärkt." Diese Anschauungen der Wirkungsweise des Mittels, in dem sich ein Körper bewegt, also insbesondere der Luft, beseitigen die Annahme des Aristoteles für den fallenden Körper, die für die geworfenen Philoponus bereits als unhaltbar nachgewiesen hatte. Bis zu einem gewissen Grade stimmen sie mit unseren Anschauungen von dem Verhalten des Mittels überein, unterscheiden sich von ihnen freilich sehr wesentlich dadurch, daß sie in diesem Verhalten die Ursache der Beschleunigung der Bewegung sehen.

c) Albertus Magnus und Thomas von Aquino.

Viel weniger selbständig im Denken und Arbeiten wie Jordanus und der Verfasser des eben besprochenen Werkes ist des ersteren jüngerer Zeitgenosse Albert von Bollstädt. War er es doch gerade, der im Gegensatz zu jenen der peripatetischen Lehre zur unumschränkten Herrschaft verhalf. Da er aber dadurch in keinen Gegensatz zu den wissenschaftlichen Bestrebungen seiner Zeit geriet, so war die Verehrung, die man seinen Leistungen entgegenbrachte, eine so ungeteilte, daß man ihm den Beinamen des Großen zulegte. Man bewunderte sein reiches Wissen, indem man dessen Wertschätzung besonders durch die Bezeichnung Alberts als des Doctor universalis ausdrückte. Glaubte man ihn doch im Besitze von Kenntnissen, die ihm Zauberkräfte verliehen, ihm den Verkehr mit höheren Wesen ermöglichten. So erzählte man sich, daß er den König Wilhelm von Holland bei dessen Besuch in Köln mitten im Winter in einem wie im Frühling blühenden Garten bewirtet habe, daß ihm der Plan des Kölner Domes im Auftrage der Jungfrau Maria von Heiligen mitgeteilt worden sei, ja daß er einen Automaten hergestellt habe, der habe sprechen können, der freilich von seinem Schüler Thomas von Aquino, der ihn für ein Werk des Teufels hielt, zerschlagen wurde. Albert stammte aus dem Geschlecht der Grafen von Bollstädt und wurde 1193 in Lauingen im bayerischen Schwaben geboren. Etwa 30 Jahre alt, trat er wie Jordanus Saxonius in den

1207 vom Papste bestätigten Dominikanerorden, in dessen Diensten er lange Jahre ein unstetes Wanderleben führte, bis ihm 1243 die Leitung der Ordensschule in Köln übertragen wurde. Er starb dort 1287, nachdem er in der Zwischenzeit während zweier Jahre den Bischofssitz in Regensburg vorübergehend eingenommen hatte. Seine Werke wurden zuerst 1651 von Jammy herausgegeben und füllen nicht weniger wie 21 Foliobände. Die ihm außer diesen später noch in bedeutender Zahl zugeschriebenen Schriften alchemistischen Inhaltes sind wahrscheinlich untergeschoben.

Der Inhalt seiner Werke rechtfertigt den hohen Ruhm, der sich an seinen Namen knüpft, keineswegs. Ihr eingehendes Studium hat Kopp[1]) zu der Ansicht gebracht, daß der Doctor universalis die Naturwissenschaften viel mehr als Schriftgelehrter denn als Naturforscher behandelte. Kam es ihm doch vielmehr auf das Urteil der von ihm anerkannten Autoritäten als auf die Erforschung der Wahrheit durch Experiment oder Beobachtung an, ja am Schluß seiner Schrift de Animalibus rechnet er es sich zum besonderen Ruhme an, daß niemand darin des Verfassers eigene Ansichten finden werde, sondern daß er es sich habe angelegen sein lassen, diejenigen der Peripatetiker möglichst zutreffend wiederzugeben. Enthalten nun auch seine Schriften die sämtlichen im allgemeinen Besitz befindlichen naturwissenschaftlichen Kenntnisse seiner Zeit, so ist dadurch doch nicht viel gewonnen, denn sie gehen eben nicht über die des Aristoteles oder besser der Araber hinaus, und namentlich ist es Avicenna, auf den er sich stützt. Und doch war Albert selbst in den Kunstgriffen und Verfahrungsweisen der Chemie, mit welcher Wissenschaft er sich vorwiegend beschäftigte, wohlerfahren, wenn er auch seine Kenntnisse mehr den Werken seiner Vorgänger entnahm, als daß er sie sich durch eigenes Arbeiten im Laboratorium verschaffte. Namentlich hat er sich mit den Metallen eingehend beschäftigt. Er kannte die Reinigung des Goldes durch Zementation[2]), die der edlen Metalle durch Hilfe von Blei[3]), wenn er auch die Prüfung der Reinheit von Gold und Silber durch mehrmaliges starkes Erhitzen bewerkstelligte, hatte die Einwirkung von Schwefel und Arsen auf die Metalle untersucht, wie er denn auch

---

[1]) Kopp, Beiträge zur Geschichte der Chemie. 3. Stück. Braunschweig 1875, S. 67 Anm.

[2]) Albertus magnus, De mineralibus. Lib. IV, Cap. 6.

[3]) Ebenda, Lib. IV, Cap. 2 u. 4.

als der erste das reguliniſche Arsenik und seine Darstellung beschreibt[1]). Das Zusammentreten der Elemente zu Verbindungen erklärte er sich in der Weise des Aristoteles so, daß sie zwar ihre ihr Wesen ausmachenden Eigenschaften der Wärme, Kälte, Trockenheit und Feuchtigkeit behalten, daß sich aber bei ihrer Mischung die gegensätzlichen Eigenschaften ausgleichen und eine mittlere bilden[2]). Von dieser Voraussetzung ging er aus, als er die Möglichkeit der Metallverwandlung annahm, obgleich er wohl selbst sie bezweckende Versuche nicht angestellt hat. Doch aber glaubte er nicht, daß es möglich sei, aus einer Metallspezies eine andere zu schaffen, sondern nur, daß die Kunst durch Aufbrechen des bisherigen Bestandes eines Metalles, durch Reinigen des in ihm vorhandenen Schwefels und Quecksilbers und deren gute Vereinigung mit dem Stoffe des Metalles ein anderes Metall erhalten könne. So lasse sich Gold aus dem ihm am nächsten stehenden Silber leichter erhalten, als aus irgend einem anderen Metalle[3]). Dabei warnte er eindringlich vor Irrtümern und Betrügereien, die durch scheinbare Umwandlung unedler in edle Metalle leicht vorkommen könnten. Mit Physik hat sich der Vollstädter nur wenig beschäftigt, eine bei ihm sich findende Bemerkung über Magnetsteine hat er den Arabern entlehnt[4]).

Können wir nun Alberts Ideen von der Entstehung einer Verbindung ohne besondern Aufwand an Dialektik mit den modernen Anschauungen in Einklang bringen, so ist das viel schwieriger der Fall mit denen seines bereits erwähnten Schülers Thomas von Aquino, des Doctor angelicus der Scholastiker, aus dem Geschlechte der Grafen von Aquino, der, 1227 geboren, 1274 starb. Er ließ die naturwissenschaftlichen Untersuchungen seines Lehrers zugunsten der theologischen und dialektischen fallen, die er freilich so meisterhaft durchführte, daß sie die Grundlagen der späteren Scholastik wurden und bis zum heutigen Tage blieben. Hat schon dadurch seine Lehre ein gewisses Interesse für unsere Betrachtungen, so wird dieses ein noch größeres durch die Art, wie er sich die Änderungen der Elemente beim Eingehen von Verbindungen dachte. Er hielt nämlich dafür, daß dabei ihre sub-

[1]) Kopp, Geschichte der Chemie. Bd. I. Braunschweig 1843, S. 62.

[2]) Albertus magnus, Opera recogn. Jammy, T. II, Lib. I. Vgl. Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Hamburg und Leipzig, Bd. I, 1890, S. 244.

[3]) Kopp, Geschichte der Alchemie. T. I. Heidelberg 1886, S. 17.

[4]) Albertus magnus, De mineralibus. Vgl. Heller, Geschichte der Physik. I. Bd. Stuttgart 1882, S. 189.

stanzielle Form verloren gehe, daß aber, indem ihre gegensätzlichen Eigenschaften mehr oder weniger starke Einwirkungen aufeinander zuließen, zwischen jenen liegende Eigenschaften aufträten, die nun das Wesen der Verbindungen ausmachten, wobei freilich nicht abzusehen ist, wie sich diese Eigenschaften ohne substantielle Form erhalten sollen[1]).

d) Roger Baco.

Diese Schwierigkeit hat die Scholastik nicht überwunden, doch aber hat sie einer der bedeutendsten Gelehrten, die man den Scholastikern zurechnet, obwohl er vielfach seine eigenen Wege gegangen ist, hat sie Roger Baco leicht gehoben, indem er sich auf seine physikalischen Erfahrungen, namentlich die Tatsache der Refraktion berief. Ihm ist nicht die Form das allein Existierende, er setzt an ihre Stelle die Substanz, welche aus Stoff und Form besteht. Sie ist das allein Wirksame in der Natur[2]) Wie es eine Vielheit und Vielfältigkeit der endlichen Formen gibt, so besteht auch eine gleiche Vielheit und Vielfältigkeit der Stoffteilchen. Die Elemente aber und ihre Verbindungen sind gesonderte Substanzen, von denen jede für sich wirkt und als unveränderlich betrachtet wird. Damit bekannte sich Baco zu einer Anschauung, die dem Nominalismus sich näherte, aber den Weg zubereiten half, auf dem die Physik allein fortschreiten konnte.

So trat Roger Baco der eigentlich scholastischen Richtung entgegen und daraus hat man die mancherlei Verfolgungen zu erklären versucht, denen er ausgesetzt gewesen ist. Er war 1214 in Ilchester in Sommersetshire in England geboren, hatte in Oxford unter der Leitung des enzyklopädisch hochgebildeten Robert Großeteste[3]) (1175 bis 1253), dann in Paris studiert, war dort promoviert und trat, in sein Vaterland zurückgekehrt, in den Orden der Franziskaner ein. Seine Oberen waren aber mit den in seinen Werken niedergelegten Früchten seines Nachdenkens durchaus nicht immer einverstanden, namentlich, da er sich darin offen über die in den Klöstern herrschenden Mißstände aussprach und eine Reformation der

---

[1]) Vgl. Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Bd. I. Hamburg und Leipzig 1890, S. 246.

[2]) R. Baco, Opus tertium. Cap. 31. ed. Brewer. London 1859, S. 108. Vgl. Laßwitz a. a. O., I. Bd., S. 252.

[3]) Siehe über ihn S. Vogl, Die Physik Roger Bacos. Inaug.-Dissert. Erlangen 1906, S. 8.

Kirche an Haupt und Gliedern für notwendig erklärte. Sie setzten ihren Verfasser in Haft, aus der ihn wenigstens für einige Zeit die Gunst des Papstes Clemens VI. wieder befreite. Dessen Nachfolger, der fanatischere Nikolaus III. ließ ihn abermals in das Gefängnis werfen, in dem er bis kurz vor seinem 1294 erfolgten Tode, der ihn bald nach seiner Rückkehr in die Heimat ereilte, geblieben ist. Seine wichtigsten Werke sind sein Opus majus und die beiden zu dessen Erklärung dienenden Opus minus und Opus tertium, von einer großen Zahl anderer Schriften zu schweigen. Grammatik, Mathematik, Physik, Astronomie, Alchemie, Medizin, Geographie, Theologie und Philosophie waren die Gegenstände, über die er gearbeitet hat. Das Opus majus wurde 1733 in London von Jebb herausgegeben, das Opus minus und tertium erschienen erst 1859 ebendaselbst im Druck.

Neben Chemie ist es namentlich die Mathematik und die Optik gewesen, mit denen sich Roger eingehender beschäftigte. Er hat diese Wissenschaften auch in besonderen Schriften behandelt. Die Chemie in dem 1541 im Druck erschienenen Speculum alchimiae, dem 1603 gedruckten Werk de arte Chymia scripta, die Mathematik in den 1614 veröffentlichten Specula mathematica, während die optischen Studien aus der Perspektive den fünften Teil des Opus majus ausmachen.

Betrachtet man den Inhalt der zahlreichen Schriften des nicht nur des Lateinischen sondern auch des Griechischen und Arabischen mächtigen Franziskaners, so begegnet man umfassenden Kenntnissen in den Schriften der Alten, vor allem aber auch in denen der arabischen Gelehrten, die ihm wohl auch vielfach die Kenntnisse jener vermittelt haben. Es sind namentlich die Lehre vom Sehen und die Optik, die er in klarer, den Standpunkt seiner Zeit vortrefflich darstellender Weise behandelt; in der Lehre vom Magnetismus schließt er sich seinem Freunde Franziskus Peregrinus an, von dem sogleich die Rede sein soll. Daneben bringt er aber auch äußerst phantastische Ideen vor. Gleichwohl ist seine Wertschätzung in den Schriften über die Geschichte der Physik eine sehr hohe, viel höher, als man sie ihm bei unbefangener Betrachtung dessen, was er wirklich geleistet hat, zugestehen möchte und das mag auch der Grund dafür sein, daß man nicht angestanden hat, manche seiner offenbar phantastischen Ideen als Beweise von ihm gemachter Erfindungen anzusehen. Hat man doch aus seiner Äußerung, daß man durch beliebige Vergrößerung einer Linse auch beliebige Vergrößerung des durch sie betrachteten Gegenstandes er-

reichen könne, ihm die Erfindung des Fernrohres zuschreiben wollen, obwohl er nie die zusammengesetzte Wirkung zweier Linsen erprobt hat[1]), auf andere Aussprüche, die er in seiner Schrift: De secretis operibus getan hat, eine Menge Erfindungen auf ihn zurückführen wollen. „Es können," sagt er dort[2]), „Wasserfahrzeuge gemacht werden, welche rudern ohne Menschen, so daß sie wie die größten Fluß- und Seeschiffe daher segeln, während ein einziger Mensch sie leitet und mit einer größeren Schnelligkeit, als wenn sie voll Ruderer wären. Ebenso können Wagen hergestellt werden, die von keinem Tier gezogen werden und mit einer unglaublichen Gewalt daher fahren, wie wir es von den Sichelwagen der Alten hören. Es können Flugmaschinen gefertigt werden, so daß ein Mensch in der Mitte des Apparates sitzend diesen durch einen künstlichen Mechanismus leitet und die Lüfte wie ein Vogel im Fluge durchmißt. Ferner können Instrumente gemacht werden, die an sich klein sind, aber hinreichen, um die größten Lasten zu heben und niederzudrücken. Sie sind nur drei Finger hoch und ebenso breit, und es kann damit ein Mann sich selbst aus dem Kerker heben" usw. Wie schön und treffend werden da die Eigenschaften des Dampfschiffes, des Automobils und der Flugmaschine geschildert, aber wer möchte Roger daraufhin für deren Erfinder erklären. So glaubte er auch an den Stein der Weisen und die Möglichkeit der Verwandlung unedler Metalle in Gold. Doch aber ist die Wertschätzung, die man ihm angedeihen läßt, eine wohl begründete, denn zu einer Zeit, wo man alles aus den Schriften der Alten lernen zu können glaubte, drang er darauf, so hoch er auch jene stellte, naturwissenschaftliche Kenntnisse nur aus der Erfahrung zu nehmen. „Es gibt," sagt er[3]), „zwei Erkenntniswege, das Argument und das Experiment. Das erstere zieht Vernunftschlüsse und veranlaßt den Konklusionen beizupflichten, gibt aber keine Sicherheit und entfernt den Zweifel nicht so weit, daß der Geist in der Anschauung der Wahrheit befriedigt wäre. Dies ist nur der Fall, wenn die Wahrheit durch die Erfahrung bestätigt ist. So muß also die Naturwissenschaft auf der Erfahrung beruhen; ohne sie kann

---

[1]) So Molyneux im Treatise of dioptricks. London 1692, S. 256. — Tanner, Bibliotheca Britannica. Londini 1748, S. 63 u. a. Vgl. auch E. Wiedemann, Wied. Ann. 1890, Bd. 39, S. 565 und Vogl, Die Physik Roger Bacos. Erlangen 1906, S. 79.

[2]) Nach der Übersetzung von Vogl a. a. O., S. 99.

[3]) Nach der Übersetzung von Vogl a. a. O., S. 17.

man nichts sicher wissen." In einer bis dahin ungewohnten Weise spricht er von dem Wert der wissenschaftlichen Erfahrung, aber es geht deshalb doch nicht an, ihn als denjenigen zu betrachten, der die induktive Methode in die Naturwissenschaft einführte. Dagegen muß ihm weiter seine Meinung von der Notwendigkeit der Mathematik für das Studium der Naturwissenschaft hoch angerechnet werden. „Es ist unmöglich," läßt er sich in dieser Hinsicht vernehmen[1]), „ohne Mathematik zu einer richtigen Erkenntnis über die Dinge der Welt zu gelangen. Von der Astronomie ist dieses an sich klar. Zahl und Größe der Gestirne, ihre Form. Entfernung und Bewegung unterliegen mathematischen Gesetzen, die wir in Tafeln und Canons niederlegen. Aber auch die Vorgänge hier auf Erden bedürfen zu ihrer Erforschung dieser Wissenschaft. Denn jedes Ding wirkt durch die Kräfte, die in ihm liegen und diese nach Linien, Winkeln und Figuren."

Auf diese in der Tat über die Denkweise seiner Zeit weit hinausgehenden Ansprüche gestützt, steht Vogl nicht an, Roger Baco nicht nur den Begründer der Experimentalwissenschaft, sondern auch den der mathematischen Physik zu nennen. Das würde aber doch nur dann richtig sein, wenn der unglückliche Franziskaner seine Aussprüche auch durch die Tat zur Geltung gebracht hätte. Aber davon ist er weit entfernt geblieben, und so dürfen wir ihn wohl für den Vorläufer des Reformators der Naturwissenschaften erklären, der Reformator selbst war er nicht. Um so rückhaltsloser aber können wir uns mit den Worten einverstanden erklären, mit denen Vogl seine Schrift über Roger Baco beschließt. „Wie wir gesehen haben," heißt es da[2]), „ruhen die Kenntnisse des Scholastikers vollständig auf den Schultern der Alten und der Araber. Aber trotz der weitgehenden Benützung fremder Autoren dürfen wir Bacos Arbeiten nicht als einfache Kompilation betrachten. Die klare und schlichte Darstellung der Probleme, die sich so wohltuend von der weitschweifigen, im Kommentieren des Aristoteles geübten Methode der Araber abhebt, zeigt, daß er sich das Dargebotene wohl angeeignet und auch selbständig verarbeitet hat und nicht ansteht, Ansichten selbst der besten Autoren zu bekämpfen und zu verwerfen. Hat er auch aus sich selbst wenig Neues gebracht, so hat er doch mit scharfem Geiste die rechten Normen für die Naturforschung erkannt,

---

[1]) Nach der Übersetzung von Vogl a. a. O., S. 18. Nach Opus majus I, 109.

[2]) Vogl a. a. O., Schlußwort, S. 101.

die Schwächen der Wissenschaft seiner Zeit durchschaut und gar manche Probe geistvoller Beobachtung gegeben." Es war also eine überlegenere Methode, die er in seinen Schriften befolgte und die ihn als einen Markstein in der Entwicklungsgeschichte der exakten Naturwissenschaften erscheinen läßt.

e) Vitello und die Erklärung des Regenbogens durch Schîrasî.

Roger hatte den ganzen Wissensschatz seiner Zeit beherrscht und den Beinamen des Doctor mirabilis, den ihm die Zeitgenossen gaben, nicht mit Unrecht getragen. Aber auch unter diesen fanden sich eine Reihe tüchtiger Forscher, die zum Teil im Anschluß an ihn, zum Teil auch selbständig einzelne Zweige der Wissenschaft behandelten. So übernahm der in Spanien geborene Raymundus Lullus (1235 bis 1315) manche Kenntnisse von Roger, wie die Art der Reinigung des Quecksilbers mit Kochsalz und Essig und nachfolgendem Durchpressen durch ein Tuch, ersetzte jedoch das Tuch durch ein Leder. Die Angaben über die Schicksale des Lullus, des Doctor illuminatissimus, wie er genannt wurde, sind so widersprechend, daß man vielfach annimmt, es habe zwei Männer dieses Namens gegeben. Nach einigen soll derjenige, welcher den obigen Beinamen trug, gar nicht der Alchemist, sondern ein Grammatiker gewesen sein, da er sich in mehreren Schriften gegen die Alchemie ausgesprochen habe, während andere zwar zwei Männer dieses Namens, die aber beide sich mit Alchemie beschäftigten, annehmen[1]). Im 14. Jahrhundert schrieb man jene Schriften dem echten Raymundus zu. Er sowohl, wie sein Zeitgenosse Arnaldus Villanovanus (1235 bis 1312) hielten zwar noch an den vier aristotelischen Elementen fest, aber der Beobachtung zugänglich erachteten sie nur den Merkurius und Sulfur, die als das flüchtige und das beständigere Prinzip aufgefaßt wurden, ihrem Stoffe nach aber aus jenen Elementen bestehen sollten. Auf optischem Gebiete wetteiferten mit Lullus der Thüringer Vitello — er nennt sich selbst thuringopolonius — von dem nur bekannt ist, daß er 1269 in Italien ein Perspectiva betiteltes Werk über Optik schrieb, und der Erzbischof von Canterbury Joannes Peckham (1228 bis

[1]) Vgl. H. Kopp, Beiträge zur Geschichte der Chemie. III. Stück. Braunschweig 1875, S. 104. Derselbe, Die Alchemie. Heidelberg 1886, Bd. I. S. 25. — E. v. Meyer, Geschichte der Chemie. Leipzig 1895. S. 29.

1291), der ein ebensolches Werk unter dem Titel Perspectiva communis verfaßte. Ist diese freilich nicht mehr als ein unzureichender Auszug aus Al Hazens Arbeiten, so enthält Vitellos Perspectiva außer den damals bekannten Tatsachen der Optik auch die Ergebnisse der Versuche, die er zur Ermittlung des Brechungsgesetzes angestellt hat. Die folgende Tabelle gibt sie in ähnlicher Anordnung, wie sie bereits bei der Mitteilung der Versuchsergebnisse, die Ptolemaios erhielt, angewendet worden ist[1]). Es bedeutet wieder α den Einfallswinkel, β und β_1 die Brechungswinkel aus Luft in Wasser und in Glas.

α °	β °	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n$	β_1 °	$\frac{\alpha}{\beta_1}$	$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta_1} = n_1$
10	7 3/4	1,29	1,288	7	1,42	1,425
20	15 1/2	1,29	1,280	13 1/2	1,41	1,465
30	22 1/2	1,34	1,307	19 1/2	1,53	1,497
40	29	1,38	1,326	25	1,60	1,521
50	35	1,40	1,336	30	1,66	1,529
60	40 1/2	1,48	1,333	34 1/2	1,73	1,529
70	45 1/2	1,53	1,318	38 1/2	1,81	1,510
80	50	1,60	1,286	42	1,90	1,472

Hiernach ergeben sich $\frac{\alpha}{\beta}$ und $\frac{\alpha}{\beta_1}$ zu 1,41 und 1,63, n und n_1 zu 1,309 und 1,494. Diese Werte sind nur wenig von denen verschieden, welche sich aus den auf S. 124 mitgeteilten Beobachtungen des Ptolemaios ergeben, und auch die mittleren Fehler jener stimmen sehr nahe mit den aus diesen berechneten überein. Es ist nämlich der mittlere Fehler für $\frac{\alpha}{\beta}$ 0,040, für $\frac{\alpha}{\beta_1}$ 0,062, für n 0,008 und für n_1 0,013, so daß von einem in den 1100 Jahren nach Ptolemaios gemachten Fortschritt in der Lehre von der Brechung nicht die Rede sein kann. Auch ergibt sich aus den weiteren von Vitello mitgeteilten Zahlen, daß ihm die totale Reflexion noch gänzlich unbekannt war. Denn da er auf dem von Alhazen zuerst ausgesprochenen Satze[2]), daß der Lichtstrahl

---

[1]) Delambre, Gilberts Annalen 1812, Bd. 40, S. 385. — Wilde, Geschichte der Optik. Berlin 1838, S. 80.

[2]) Poggendorf, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 91 schreibt diesen Satz Vitello zu, wogegen E. Wiedemann, Wiedemanns Annalen,

aus Luft in Wasser oder Glas den nämlichen Weg nimmt, wie aus Wasser oder Glas in Luft, so glaubt er den diesen Weg bestimmenden Brechungswinkel berechnen zu können, wenn er den Unterschied dieses Wertes von α und β, bzw. β_1 zu α addiert. Diese Werte kann er nicht experimentell geprüft haben, denn sonst müßte ihm aufgefallen sein, daß die unter größeren Winkeln als die Grenzwinkel einfallenden Strahlen nicht mehr gebrochen werden. Wohl auch im Anschluß an Alhazen hält er nach Keplers Zeugnis dafür, daß die Bewegung eines schräg auffallenden Lichtstrahles aus zwei Bewegungen zusammengesetzt gedacht werden könne, eine Auffassung, die je länger je mehr an Wichtigkeit gewann, von Kepler aber nicht geteilt wurde. „Sie fügen etwas," sagt er[1]), „ich weiß nicht wie Scharfsinniges hinzu; die Bewegung des schräg einfallenden Lichtes werde zusammengesetzt aus einer Bewegung senkrecht und aus einer parallel zur Oberfläche des dichten Mittels, und die so zusammengesetzte Bewegung werde nicht vernichtet von dem Widerstand des durchsichtigen dichteren Mittels, sondern nur gehindert." Auch Vitellos Erklärung des Regenbogens geht über die des Alhazen nicht hinaus; denn wenn er auch zu seiner Entstehung die Brechung und Reflexion des Sonnenlichtes heranziehen zu müssen glaubt, so gibt er doch den Weg, den der Strahl im Tropfen zu nehmen hätte, nicht an, und indem er nur von drei Farben redet, sodann aber behauptet, daß die Größe des Halbmessers der schönen Naturerscheinung mit der Dichtigkeit der Atmosphäre sich ändere, beweist er, daß er auch hier selbst kaum beobachtet haben kann, sich vielmehr auf die Aussagen anderer verlassen haben muß.

Die erste auch jetzt noch zutreffende Erklärung des Regenbogens verdankt man vielmehr dem Verfasser des Kommentars zu der Optik Alhazens in der Leidener Handschrift. Seinen Namen hat er nicht genannt, E. Wiedemann[2]) denkt daran, daß es Kamâl ad Dîn Abû al Hasan al Fârisî gewesen sein könne, der einen solchen Kommentar verfaßt hat. In diesem wird erzählt, daß sein Ver-

---

1890, Bd. 39, S. 568 mit Recht Einspruch erhebt. Doch war der Tatbestand von Wilde, Geschichte der Optik, Berlin 1838, Bd. 1, S. 82 bereits aufgeklärt.

[1]) Kepler, Paralipomena in Vitellionem, Cap. IV, 2, Ausgabe von Frisch, Bd. II, S. 181: »Addunt subtile nescio quid: motum lucis oblique incidentis componi ex motu perpendiculari et motu parallelo ad densi superficiem eumque motum sic compositum non aboleri ab occursu pellucidi densioris, sed tantum impediri.«

[2]) E. Wiedemann, Wiedemanns Annalen 1890, Bd. 39, S. 566.

fasser vergeblich die Erklärung des Regenbogens gesucht habe, bis ihm ein Helfer erstanden sei, nach Wiedemann in der Person des in Persien lebenden Gelehrten Kotb ed Dîn Abû al Tanâ Mahmûd ibn Marûd al Schîrasî, dessen Lebenszeit auf 1236 bis 1311 angegeben wird. Diesem würde man also die Erklärung des Regenbogens, die die durch Aristoteles gegebene verwarf, und sie auf zwei Brechungen und eine bzw. zwei Reflexionen zurückführt, verdanken. Ob sie von den Arabern der Dominikaner Theodorich von Freiberg in Sachsen, dem man auf Grund der von ihm 1311 verfaßten Schrift: De radicibus impressionum sive de iride lange die Priorität dieser Erklärung zugesprochen hat[1]), erhielt oder ob er selbständig darauf gekommen ist, wird wohl kaum noch ausgemacht werden können[2]).

Auffallend ist es, daß weder Roger noch Vitello oder Peckham, obwohl sie sich so eingehend mit der Optik beschäftigt haben, die Erfindung der Brillen erwähnen, die, soweit wir wissen, doch zu ihren Lebzeiten gemacht sein muß, um so mehr, als Roger von der vergrößernden Kraft der Linsen spricht. Den Versuch, den er bei dieser Gelegenheit beschreibt, hat er freilich so kaum anstellen können, und so wird man die Annahme kaum von der Hand weisen dürfen, daß die optischen Arbeiten der drei Gelehrten doch im Grunde nichts anderes waren als Kommentare griechischer und arabischer Schriftsteller, während die optischen Arbeiten ihrer Zeitgenossen auf praktischem Gebiete ihnen fremd blieben. Allerdings dürfen wir anderseits auch nicht vergessen, daß die Nachrichten, die uns über diese zur Verfügung stehen, recht dürftige sind. Die erste Erwähnung der Brillen ist in einem Manuskript aus dem Jahre 1299 erhalten, welches der Leibarzt Ferdinands II. von Toskana Redi besaß. Es heißt darin[3]): „Ich finde mich so beschwert

[1]) Zuerst 1814 von Venturi unter dem Titel Commentari sopra la storia e la teoria dell'ottica, Bologna veröffentlicht. Danach in Gilberts Annalen 1816, Bd. 52, S. 406 und Poggendorffs Geschichte der Physik, Leipzig 1879, S. 96.

[2]) Preger, Sitzungsberichte der Kgl. Bayer. Akademie der Wissenschaften 1871, Historisch-philologische Abteilung, S. 171 ff. S. auch Vogl, Die Physik Roger Bacos. Erlangen 1906, S. 83.

[3]) Smith, Optics in der Übersetzung von Kästner. Altenburg 1755, S. 140. Vgl. Wilde, Geschichte der Optik. I. Teil, Berlin 1838, S. 95, Mi truovo cosi gravoso di anni, che non avrei valenza de leggere e scrivere senza vetri appelati okiali, truovati novellamente per la commodità delli poveri veki, quando affiebolano del vedere.

vom Alter, daß ich ohne die sog. Augengläser, die vor kurzem zum Vorteile der armen Alten, deren Gesicht blöde wird, erfunden sind, weder lesen noch schreiben könnte." Als Erfinder aber gab eine Grabschrift in der Kirche Maria Maggiore zu Florenz, die Leopoldo del Migliore 1684 noch gesehen hat, den Florentiner Salvino degli Armati an. „Hier liegt," lautete sie[1]), „Salvino degli Armati, der Erfinder der Augengläser. Gott verzeihe ihm seine Sünden. 1317." Der Plural aber schließt die Annahme aus, daß es sich dabei um ein Leseglas gehandelt habe. Das Jahr der Erfindung aber bestimmt das Wörterbuch der Accademia della Crusca, die 1582 zu Florenz gestiftet wurde, auf kurz nach 1285. „Bruder Jordano Rivalto," heißt es dort bei dem Artikel Occhiali (Brillen)[2]), „sagt in der im Jahre 1305 veranstalteten Sammlung seiner Predigten, es seien noch nicht 20 Jahre, daß man die vortreffliche Erfindung der Brillen gemacht habe." Damit stimmt auch die Mitteilung, die der Pisaner Dominicus da Peccioli in der von ihm verfaßten Chronik bringt. Sie lautet[3]): „Bruder Alexander de Spina aus Pisa

---

[1]) Hinsichtlich dieser Inschrift berufen sich Wilde und Klügel in Pristley (Geschichte der Optik, Deutsch von Klügel, I. Teil, Leipzig 1775, S. 17) auf Volkmanns Nachrichten von Italien, 1. Bd., S. 542. Pristley selbst zitiert Muschenbroeks Introductio ad Philosophiam naturalem, T. II, Lugd. Bat. 1772, dieser die Acta Eruditorum, aber sein Zitat ist falsch. Gemeint ist die Anzeige der Schrift: »Degli occhiali da naso, inventati da Salvino Armati etc. hoc est De Ocularìis nasi, seu perspicillis, a Salvino Armati, nobili Florentino inventis, Commentatio historica, Autore Dominico Maria Manni, Academico Florentino, Florentiae 1738, die sich auf S 309 des Tomus VI der Supplementa ad Nova Acta Eruditorum, quae Lipsiae publicantur vom Jahre 1749 findet. Die Inschrift, die bei Pristley heißt: »Qui giace Salvino degli Armati, Inventòre degli Occhiali Dio gli perdoni peccata«, ist dort aufgenommen: Qui diace Salvin dio gli D. Armati degli Armati di Fir. inventor degli ochiali Perdoni la Peccata. Anno D. 1317.

[2]) Vocabolario degli accademici della Crusca bei dem Wort Ochiale. Vgl. Wilde, Geschichte der Optik. T. I. S. 95.

[3]) Acta Erud. etc. S. 311. Frater Alexander de Spina Pisanus manibus suis, quicquid voluisset, operabatur, e charitate victus aliis communicabat. Unde cum tempore illo quidam vitrea specilla, quae ocularia vulgus appellat, primus adinvenisset, pulchro sane, utili ac novo, invento, neminique vellet artem ipsam conficiendi communicare, hic bonus vir et artifex, illis visis, statim, nullo docente didicit, et alios, qui scire voluerunt, docuit. Dies Zeugnis, fährt die Anzeige fort, wiederholte Franziskus Redi in seinem Brief an Paulum Falconierium und leugnete, daß man dem Spina die Erfindung verdanke. (Der Brief befindet sich im Journal des Scavans von 1679, S. 52.)

machte mit eigenen Händen alles, was er nur wünschte und teilte von Wohlwollen erfüllt es anderen mit. Als daher zu jener Zeit jemand gläserne Spezillen, die gewöhnlich Brillen genannt werden, zuerst erfunden hatte, eine Erfindung, die sehr schön, nützlich und neu war, und ihm niemand die Kunst der Darstellung mitteilen wollte, so lernte dieser gute und geschickte Mann, nachdem er sie gesehen hatte, obwohl es ihm niemand zeigte, es sogleich und teilte es anderen mit, die es zu wissen wünschten." Fügen wir hier noch die Worte, die der Professor der Medizin Bernhard Gordon in Montpellier in seinem 1305 erschienenen Werke Lilium medicinae zur Empfehlung einer Augensalbe angab, sie sei von solcher Kraft, daß sie auch alten Leuten kleine Schrift ohne Brille zu lesen ermögliche[1]), so haben wir alle Aktenstücke, die uns zur Zeit der Erfindung der Brillen zur Verfügung stehen, aufgeführt. Wenn neuerdings Oppert[2]) und Berthold Laufer[3]) für eine Erfindung der Brille durch die Inder eintreten, so dürften Beweisgründe doch nicht zwingend genug sein, um die Priorität des Abendlandes unwahrscheinlich zu machen. Ersterer beruft sich darauf, daß die Inder die Operation des grauen Staares erfunden haben, welche ohne Kenntnis der Brille zwecklos gewesen sei, welche Folgerung Hirschberg[4]) wohl mit Recht zurückweist. Letzterer dagegen führt aus, daß die Chinesen etwa seit 1260 Brillen benutzt hätten, die aus Turkistan eingeführt seien, und glaubt daraus ebenfalls auf die indische Herkunft der Brillen schließen zu können. Einstweilen scheinen diese Beweisgründe nicht zwingend genug, um die Erfindung in Florenz gegen Ende des 13. Jahrhunderts weniger glaubhaft zu machen. Für sie spricht auch die überaus primitive Art der Befestigung der Gläser in einem Stück Leder, das an der Kappe befestigt wurde. Auch die Herleitung des Namens von dem aus dem Arabischen stammenden Worte Beryllos ändert hieran nichts. In seiner 1439 und 1440 verfaßten Schrift De Beryllo sagt Nikolaus von Cusa, daß der Beryll ein weißer durchsichtiger Stein sei, der eine konkave oder konvexe Gestalt haben könne und die Eigenschaft besitze, daß der Hindurchsehende vorher Unsichtbares erblicken könne[5]).

---

[1]) Gordon, Lilium medicinae. Lugduno 1491, S. 140.

[2]) Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften 1907, Bd. VI, S. 222.

[3]) Ebenda 1907, Bd. VI, S. 381. — [4]) Ebenda 1907, Bd. VI, S. 223.

[5]) Nikolaus de Cusa, De docta ignorantia. Basileae 1565, Lib. I, Cap. 19.

f) Der Kompaß und Petrus Peregrinus.

Es waren in erster Linie optische und chemische Beobachtungen und Versuche gewesen, mit denen sich die Araber eingehender beschäftigt und für die sie das Interesse der Scholastiker erregt hatten. Neben diesen finden wir bei den Gelehrten des Abendlandes ein Forschungsgebiet bearbeitet, auf dem sie sich selbständiger experimentierend bewegten, wenn es auch möglich ist, daß sie durch Vermittlung der Araber darauf hingewiesen worden waren, das Gebiet des Magnetismus. Die Eigenschaft eines frei beweglichen Magnetsteines, stets eine bestimmte Stellung gegen die Himmelsgegenden einzunehmen, war freilich bereits den Chinesen bekannt und wurde von ihnen bei ihren magnetischen Wagen dazu benutzt, beim Bereisen ihrer eintönigen Lößebenen eine bestimmte Richtung einzuhalten. Am frühesten erwähnt werden nach Ed. Biot diese Wagen im 4. Jahrhundert v. Chr., doch setzen die Chroniken ihre Erfindung in viel weiter zurückliegende Zeiten und geben das Jahr 1110, ja sogar 2634 v. Chr. als diesen Zeitpunkt an[1]). Eine auf dem Wagen drehbar angebrachte Figur wies mit dem Finger stets nach Süden. Ob sie nun im Innern einen Magnetstein trug oder, wie vielfach angegeben wird, durch die Nadel einer Bussole angetrieben wurde, geht aus den uns erhaltenen Mitteilungen nicht hervor. Unmöglich ist es nicht, da in einem 121 n. Chr. vollendeten chinesischen Wörterbuche der Magnet als ein Stein bezeichnet ist, mit dem man der Nadel die Richtung geben kann[2]). Ob sie damals auch bereits Bussolen hatten, ist noch nicht erwiesen, über solche aus späterer Zeit besitzen wir allerdings Nachrichten, aber die älteste Beschreibung, die Klaproth[3]) von einem solchen Instrumente auffinden konnte, stammt erst aus dem Anfange des 12. nachchristlichen Jahrhunderts. Damals bedienten sich ihrer bereits die chinesischen Seefahrer, die nach Klaproth nicht nur die Deklination kannten, sondern auch wußten, daß man eine Eisenspitze durch Reiben mit einem Magnetstein magnetisch machen kann; die Nadel aber war in einem geschlossenen Raume an einem

---

[1]) Ed. Biot, Note sur la direction de l'aiguille aimantée en Chine. Comptes rendus 1884. Bd. 19, S. 824. — Humboldt, Kosmos IV. Stuttgart und Tübingen 1858, S. 169. — v. Urbanitzky, Elektrizität und Magnetismus im Altertume. Wien und Leipzig 1887, S. 29.

[2]) Vgl. v. Urbanitzky a. a. O., S. 31.

[3]) Klaproth, Lettre à M. Al. de Humboldt sur l'invention de la Boussole. Paris 1834, S. 41.

feinen baumwollenen oder seidenen Faden aufgehängt, an den sie mit Wachs angeklebt wurde[1]). Aber auch vor der Herstellung der Bussole hatten die Seefahrer mit Hilfe schwimmender Magnete oder in ein Schilfrohr eingeschlossener Nadeln die Himmelsgegenden bestimmt, und dadurch waren sie seit dem 4. Jahrhundert n. Chr. befähigt, indische Häfen und die Ostküste von Afrika regelmäßig zu besuchen[2]).

Hier trafen sie mit den Arabern zusammen, in deren Händen der Handel jener Länder bis in das 1. Jahrhundert n. Chr. allein lag[3]), und es ist wohl möglich, daß sie diese mit dem Gebrauch des Magneten zur Bestimmung der Himmelsrichtungen bekannt machten, daß von ihnen dann auch das Abendland diese Kenntnis erhielt. So soll denn nach Klaproth[4]) der Name Bussole nicht von dem lateinischen buxula oder dem italienischen bussola stammen, sondern von dem arabischen Wort für Pfeil mo-uassala herzuleiten sein.

Daß die Bekanntschaft der Araber mit der Bussole bereits bis zum Jahre 854 n. Chr. zurückreiche, wie man annehmen zu müssen geglaubt hatte[5]), hat sich allerdings als nicht haltbar erwiesen. Denn abgesehen davon, daß die bezügliche Angabe einem im 14. Jahrhundert verfaßten Werke entnommen ist, so ist es auch keineswegs sicher, daß das darin gebrauchte Wort Qaramît mit Magnet zusammenzubringen ist. Auch der Sinn des Verses, um den es sich dabei handelt, würde mit dem Kompaß nichts zu tun haben[6]). Daß sie aber im 12. Jahrhundert auch im Abendlande bereits allgemein bekannt war, dürfen wir den Schriften Alexander Neckams „De naturis rerum" (Über die Naturen der Dinge) und „de Utensilibus" (Über die Werkzeuge) entnehmen, welche im vorletzten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts verfaßt und neuerdings von Thomas Wright neu herausgegeben sind. „Die das Meer befahrenden Schiffer," heißt es in der ersten, „bringen,

[1]) Ed. Biot, a. a. O., S. 825. — Vgl. v. Urbanitzky, S. 40. — Vgl. auch Bertelli, Sulle recenti controversie intorno all' origine della bussola nautica. Roma 1902.

[2]) Humboldt, Kosmos, Bd. IV, S. 51.

[3]) Hümmerich, Vasco de Gama. München 1868.

[4]) Klaproth a. a. O., S. 27.

[5]) E. Wiedemann, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen 1904, Bd. 36, S. 331.

[6]) E. Wiedemann, Zur Geschichte des Kompasses bei den Arabern. Berichte der Deutschen physikalischen Gesellschaft 1907, 5. Jahrg., S. 764.

wenn sie die Wohltat des Sonnenlichtes bei nebeligem Wetter entbehren oder auch, wenn die Erde von nächtlicher Finsternis verhüllt wird, und sie nicht wissen, nach welcher Himmelsgegend ihr Schiff seinen Lauf richtet, eine Nadel über einem Magneten an, welche im Kreise soweit herumbewegt wird, bis nachdem jener zur Ruhe gebracht ist, ihre Spitze nach Norden zeigt[1])." In der zweiten wird die Art der Aufstellung so gefordert, daß die Nadel sich unterhalb eines Zeigers befindet. In nicht wenigen Werken des 12. und 13. Jahrhunderts, namentlich in Gedichten, wird der Richtkraft des Magneten Erwähnung getan. So in dem von Guyot de Provins in seinem 1190 verfaßten Gedichte »La Bible«, in der in der ersten Hälfte des 13. Jahrhunderts vom Bischof Jaques de Vitry herausgegebenen | Historia orientalis, in Brunetto Latinis, des Lehrers etwas später geschriebenem »Tresor«. Um die nämliche Zeit gebraucht Gauthier d'Espinois in einem Gedichte das Bild, wie der Magnet die Nadel durch seine Kraft richte, so wende sich jedermann zu seiner Dame, wenn er deren Schönheit bemerkt habe. Daß auch Albert der Große die Magnetnadel kannte, sahen wir bereits, und wenn wir dieser stattlichen Reihe von Gewährsmännern noch Vincent von Beauvais und den Jesuiten Riccioli hinzufügen[2]), so dürfte damit wohl der Beweis erbracht sein, daß die Anwendung der Magnetnadel in der Schiffahrt des 13. Jahrhunderts eine ganz bekannte Sache gewesen sein muß. Der Kompaß kann deshalb nicht, wie man früher vielfach annahm, erst 1320 von Flavio Gioja aus Amalfi erfunden worden sein. Aber auch A. v. Humboldts Vermutung, daß Gioja vielleicht eine Verbesserung an dem zu seiner Zeit gebräuchlichen Kompaß angebracht habe[3]), kann nicht mehr festgehalten

---

[1]) Neckam, De naturis rerum. ed. Wright. S. 183. Vgl. Hellmann, Die Anfänge der magnetischen Beobachtungen. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1897, Bd. 32, S. 126. Nautae enim mare legentes, cum beneficium claritatis solis in tempore nubilo non sentiunt, aut etiam cum caligine nocturnarum mundus obvolvitur, et ignorant in quem mundum cardineus prora tendat, acum super magnetem ponunt, quae circulariter circum volvitus usque dum, ejus motu cessante, cuspis ipsius septentrionalem respiciat.

[2]) S. Vogl, Die Physik Roger Bacos. Erlangen 1906, S. 97. — A. v. Humboldt, Kosmos, Bd. II. Stuttgart und Tübingen 1847, S. 294. — v. Urbanitzky, Elektrizität und Magnetismus im Altertume. Wien und Leipzig 1887, S. 44. — Heller, Geschichte der Physik. Bd. I. Stuttgart 1882, S. 209.

[3]) Humboldt, Kosmos, Bd. II, S. 295.

werden, seit Bertelli[1]) zeigte, daß die Flavio-Legende erst 1586 durch ein Mißverständnis Mazzellis in die Literatur gekommen ist. Somit entbehrt auch die weitere Vermutung, Amalfische Schiffer hätten den Kompaß von den Chinesen kennen gelernt und diese Kenntnis in das Abendland gebracht, jeden geschichtlichen Hintergrundes.

Aus dem 13. Jahrhundert sind uns nun sowohl von abendländischen, als auch orientalischen und arabischen Schriftstellern Nachrichten erhalten, welche ersichtlich mit Neckams Bericht übereinstimmen. Sie fügen nur wenigstens zum Teil hinzu, daß die Nadel am Magneten vor jener Rundbewegung gerieben wird. So berichtet der persische Literat ʿAwfî, nachdem er wie Neckam die Verlegenheit der Schiffer bei bewölktem Himmel geschildert hat, „daß es die Eigentümlichkeit jenes Magnetsteines ist, daß, wenn man ihn kräftig am Eisen reibt, so daß er am Eisen eine Spur hinterläßt, jenes Eisen nur in der Qibla-Richtung (Südrichtung) zur Ruhe gelangt". Die ausführlichste Beschreibung des Kompasses des 13. Jahrhunderts aber verdanken wir Thomas von Contimprés, dessen nach seiner eigenen Angabe 1256 verfaßtes Werk[2]) den offenbar von Neckam übernommenen Titel Libri de naturis rerum trägt. Die den Kompaß betreffende Stelle ist im Urtext von H. Stadler[3]) nach Cod. lat. Mon. 2655 aus Kloster Aldersbach S. XIII mitgeteilt und findet sich in wörtlicher Übersetzung in Konrad von Megenberg 1349 herausgegebenem »puoch von der nâtûr«, wo indessen der Magnetstein als eine Art des Diamanten (Adamas) angesehen wird[4]). Nach der Übersetzung von Schulz[5]) lautet die Stelle in neuhochdeutscher Sprache folgendermaßen: „Er (der Diamant d. i. Magnetstein) zeigt auch die Stellung des Polar-

---

[1]) Bertelli, La Leggenda di Flavio Gioia, inventore della bussola. Firenze 1903. Vgl. auch L. Hazard, Early history of the Mariners compass and earliest knowledge of the magnetic declination according to Bertelli, Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity 1903, Bd. VIII, S. 179.

[2]) E. H. F. Meyer, Geschichte der Botanik, Bd. IV, S. 94.

[3]) H. Stadler, Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften 1907, Bd. VI, S. 121.

[4]) Ebenda, S. 122. Auch Platon erwähnt in seiner Schrift über den Staat den Adamas, aber offenbar in der Bedeutung von Stahl. Vgl. auch v. Lippmann, Chemisches und Physikalisches aus Platon. Journal für praktische Chemie. Neue Folge Bd. 76, 1907, S. 523.

[5]) H. Schulz, Das Buch der Natur von Konrad von Megenberg in Neu-Hochdeutscher Sprache. Greifswald 1897, S. 373.

sternes an. Wenn die Schiffer auf dem Meere vor Nebel nicht erkennen können, wie sie das Land erreichen sollen, so nehmen sie eine Nadel, reiben ihre Spitze an dem Diamanten und stecken sie quer durch ein Rohrstückchen[1]) oder einen Holzspan, bringen sie in ein wassergefülltes Becken oder Schale, und einer führt dann mit der Hand den Diamanten auswendig um das Gefäß herum, in dem sich die Nadel befindet. Die Nadelspitze folgt im Innern dieser Bewegung und beschreibt also in dem Gefäße auch einen Kreis. Dies wird einige Zeit fortgesetzt, dann aber zieht der, der den Stein herumführt, diesen plötzlich weg und versteckt ihn. Hat nun die Nadelspitze so ihren Führer verloren, so wendet sie sich sofort gegen den Polarstern[2]), steht fest und bewegt sich nicht mehr. Danach richten sich dann die Schiffer." Fast dieselbe Erzählung finden wir dann in dem Buche, das Bailak el Qabaqâqî unter dem Titel des „Schutzes der Kaufleute in der Kenntnis der Steine" 1282 in arabischer Sprache verfaßt hat[3]) und worin er sie als ein Erlebnis aus dem Jahre 1242 auf dem syrischen Meere darstellt. Nur erwähnt er nicht, daß die Nadelspitze am Magnetstein gerieben werde, fügt aber hinzu, daß die Befahrer des indischen Meeres die Nadel mit der Binse auch durch eine hohle Fischfigur aus Eisen ersetzen, deren Kopf und Schweif die Nord- und Südrichtung anzeigt.

Die auffallende Übereinstimmung dieser Berichte würde auf eine gemeinschaftliche ältere, vielleicht chinesische Quelle schließen lassen, wenn nicht die orientalischen Berichterstatter sie als eigene Erlebnisse darstellten. Jedenfalls lassen sie auf ganz gleichmäßig geübte Verfahrungsweisen schließen. Beachtet man aber, daß, wie berichtet wurde, Kuopho als die in China allgemein verbreitete Ansicht ausspricht, daß die magnetische Kraft wie ein Windeshauch ist, der den Magnet und das Eisen geheimnisvoll durchweht und pfeilschnell sich mitteilt, dann wird man den Zweck der Bewegung des Magneten zur Mitteilung einer drehenden Bewegung der Nadel vielleicht darin sehen dürfen, daß dadurch die Kraft entweder allein oder nach vollzogener Berührung oder Reibung übertragen werden sollte. Jedenfalls sind diese Mani-

---

[1]) Contimprés sagt »festuca parva«, Konrad von Megenberg: „an ain halmstuck oder in ain spaenel von Holz".

[2]) Contimprés nennt ihn: »Stellam maris, quae Maria dicitur«.

[3]) E. Wiedemann, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät zu Erlangen 1904, Bd. 36, S. 331.

pulationen nicht mit der viel späteren Magnetisierungsmethode durch Streichen zu verwechseln. Ist das bei der Magnetisierung durch Berühren selbstverständlich, so war das Reiben offenbar ein ganz regelloses und sollte, worauf die Bemerkung 'A w f î s, daß dabei der Magnet am Eisen eine Spur hinterlassen muß, während die Härteverhältnisse beider Körper das Entgegengesetzte erwarten ließen, wohl nur in spirituell gedachter Weise die Kraft des Magneten auf das Eisen übertragen. Findet sich doch, wie wir sehen werden, eine solche Anschauung noch in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts bei Robert Norman. Jedenfalls aber hatte die Bewegung des Magneten vor der durch Reiben magnetisierten Nadel den Vorteil, daß sie die Lage der Pole, die sie erhalten hatte und über die man im unklaren sein mußte, bestimmen ließ. Da der Mehrzahl der Berichte nach die Manipulationen vor jeder Kompaßbeobachtung angestellt werden sollten, so wird man nicht annehmen können, daß die Nadeln Stahlnadeln waren, denn dann hätten sie ihren Magnetismus ja sehr lange bewahren müssen[1]).

Obwohl Roger Baco im Opus majus, im Opus minus und in seiner Schrift »de nullitate magiae« sich mit dem Magneten befaßt, so ist bei ihm eine Aufklärung der angeregten Fragen nicht zu finden. Freilich sind seine Mitteilungen nicht originell, sondern gehören seinem Freund Petrus Peregrinus. Von ihm besitzen wir einen Brief, der mit großer Vollständigkeit die Kenntnisse des 13. Jahrhunderts vom Magneten und seinen Anwendungen überliefert, mit so großer Vollständigkeit als sie zur Aufklärung eines nicht Sachverständigen sich als notwendig erwies. Da überdies Petrus in den meisten Fällen experimentell vorgeht, so läßt seine Arbeit auch ein Urteil darüber zu, was man von obigen Vorschriften für notwendig hielt, und erlaubt so, die Zulässigkeit der vorgetragenen Deutung des überflüssigen Beiwerkes zu prüfen.

Petrus, der den Namen des Peregrinus, des Pilgers, führte, weil er an dem ersten Kreuzzuge König Ludwigs IX. des Heiligen von Frankreich teilgenommen hatte, war in der ersten Hälfte des 13. Jahrhunderts in Maharncuria (Maricourt) in der Pi-

[1]) Vgl. E. Gerland, Der Kompaß bei den Arabern und im christlichen Mittelalter. Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften 1906, Bd. VI, S. 9 und Zur Geschichte der Magnetisierung von Kompaßnadeln mit Hilfe von natürlichen Magneten. Verhandlungen der Deutschen physikalischen Gesellschaft, X. Jahrg., 1908, S. 377.

cardie geboren. Er hatte Karl von Anjou bei dessen Besitznahme von Unteritalien als Ingenieur begleitet und lebte später als Magister Petrus in Paris, wo Roger Baco mit ihm in Verbindung trat. Er war wohl der einzige der Pariser Gelehrten jener Zeit, der auf Roger bestimmend einwirkte, und dieser hat ihm in seinen Schriften ein ehrenvolles Denkmal gesetzt. Die Schrift über den Magneten verfaßte Petrus 1269 bei der Belagerung von Lucera (Nocera), für welche er die Belagerungsarbeiten zu leiten hatte, als Brief an seinen Freund Sygerus de Foucaucourt. Aus ihrem Titel »Epistola Petri Peregrini de Maricourt ad Sygerum de Foucaucourt militem de magnete« hat ein Abschreiber Petri Peregrini de Maricourt Adsigerii gelesen; den sinnlosen Beinamen hat Thévénot in die Literatur eingeführt, und es ist bisher noch nicht gelungen, ihn wieder zu beseitigen. Nach einer in seinem Besitz befindlichen Abschrift gab der Lindauer Arzt Gasser 1558 in Augsburg zum ersten Male die Arbeit des Peregrinus in den Druck[1]). Seitdem ist sie noch öfters herausgegeben, so 1838 von G. Libri, 1868 von Bertelli[2]), 1898 von Hellmann[3]), sodann in englischer Übersetzung 1902 unter Aufsicht von Silvanus P. Thompson[4]), 1904 von Arnold[5]) in New York. Es ist mit Sicherheit anzunehmen, daß des Peregrinus Brief alles enthält, was man zu seiner Zeit vom Magneten wußte, in der Tat finden wir in ihm alle die Angaben, die bereits die Araber darüber gemacht hatten, und es wird kaum möglich sein, welchen Versuch Potamian[6]) macht, auszuscheiden, was Petrus selbständig gefunden oder was er von seinen Vorgängern übernommen hat. Unhaltbar ist auf jeden Fall die Annahme Park Benjamins[7]),

---

[1]) G. Hellmann, Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus, Nr. 10. Berlin 1898. Vogl a. a. O., S. 11.

[2]) Bertelli (aus 9 Handschriften entnommen) im Bulletino di Biografia e de Storia delle Science Mathematiche e Fisiche 1868, Bd. I, S. 1 bis 32.

[3]) G. Hellmann a. a. O., Nr. 10, 1. Druck.

[4]) Eine luxuriös ausgestattete Ausgabe, die aber nur in 250 Exemplaren gedruckt worden ist.

[5]) Arnold, Electrical World and Engineer 1904, Bd. 43, S. 598.

[6]) Potamian, Petrus Peregrinus. Author of the Earliest Treatise on the Magnet 1269. Electrical World and Engineer 1904, Bd. 43, S. 514.

[7]) Park Benjamin, The intellectual rise in electricity. London 1895, S. 165 ff.

alles in dem Briefe Mitgeteilte für Entdeckung seines Verfassers zu halten[1]).

Als Fundorte der Magnetsteine gibt Petrus die nördlichen Meere an, auch in der Normandie, in Flandern und in der Picardie werden sie gefunden. Um die Pole eines solchen Steines zu bestimmen, gibt er ihm durch Bearbeitung eine runde Form und legt ein Eisenstäbchen oder eine eiserne Nadel darauf. Die Richtung, die das Stäbchen oder die Nadel annimmt, bezeichnet er durch eine Linie und verfährt darauf ebenso, indem er die Nadel an mehrere andere Stellen des Steines legt und gleichfalls die von ihr angenommene Richtung durch Linien festhält. Diese Linien schneiden sich in zwei Punkten, den Polen, die man aber auch erhalten kann, indem man die Punkte des Steines sucht, an welchen die Nadel am häufigsten und festesten kleben bleibt. Zur Prüfung der gefundenen Punkte bringt er dann eine eiserne Nadel von der Länge zweier Fingernägel daran und überzeugt sich, ob sie eine zum Stein senkrechte Richtung annimmt. Um die Art des Poles zu bestimmen, legt er den Magnetstein in eine auf Wasser schwimmende hölzerne Schüssel, mit deren Hilfe er dann auch die Abstoßung gleichnamiger und die Anziehung ungleichnamiger Pole nachweist. Berührt er dann mit einer Nadel einen der Pole, so findet er, daß die Nadel auch magnetisch wird, indem sie von dem Magneten die Kraft annimmt (virtutem recipiat). Das an den Nordpol gebrachte Ende wird Südpol und umgekehrt. Prüft man aber dann die Pole mit Hilfe des Magneten, so beobachtet man oft, daß die Pole des Eisens umgekehrt werden. „Der Grund davon," meint Petrus, „ist die Wirkung des letzten Agens, welches die Kraft des ersten verwirrt und umkehrt[2])." Bricht man die magnetisch gewordene Nadel in Stücke, so zeigen sich auch diese als Magnete, deren Pole in der nämlichen Ordnung wie bisher liegen. Die Ursache für diese Erscheinung findet der Peregrinus darin, daß die Kraft des stärkeren Poles aktiv, die des schwächeren passiv wird[3]). Daß der Magnet auch durch andere Körper, Wasser,

---

[1]) Vgl. über Petrus Peregrinus auch Diamilla-Muller, Erronea credenza popolare sull'invenzione della Bussola. Atti del Congresso internazionale diszienze storiche (Roma 1903). Roma 1904, Vol. XII, S. 267.

[2]) Et causa huius est impressio ultimi agentis, confundentis et alterantis virtutem primi (S. Hellmann a. a. O., Epistola etc., S. 5).

[3]) In cuius attractione lapis fortioris virtutis agens est; debilioris vero patiens (S. Hellmann a. a. O., Epistola etc., S. [5]).

Glas, die Hand wirkt, mag er von den Arabern entnommen haben, von denen vielleicht auch die Annahme herrührt, daß eine ähnliche Kraft, wie zwischen Eisen und dem Magneten, auch zwischen Gold sowie den anderen Metallen und dem Magneten bestehe, ja daß die Pflanzen magnetische Kraft besäßen, die ihm eigene Versuche kaum bestätigt haben konnten.

Gegen die zu seiner Zeit verbreitete Ansicht, daß der Stein deshalb eine bestimmte Richtung annehme, weil das Mineral, von dem er genommen ist, ihn anzieht, macht er geltend, daß sich dessen Pole dann ja nicht überall nach den Himmelspolen richten könnten. Von diesen müsse er also seine Kraft empfangen. Stelle man also einen kugelförmigen Magneten her und versehe seine Pole mit Spitzen, um die er sich drehen kann, so werde er sich mit dem Himmelsgewölbe drehen und könne also eine Uhr ersetzen. „Und wenn dann," ruft er seinem Freunde zu, „der Stein der Bewegung des Himmels gemäß gedreht wird, so freue dich, daß du ein wunderbares Geheimnis entdeckt hast, geschieht dieses nicht, so mag der Mißerfolg eher deinem Mangel an Geschicklichkeit, als einem Fehler der Natur zuzuschreiben sein[1])."

Zeigen uns nun diese Betrachtungen über den Magnetstein und seine Wirkungen, die den ersten Teil des Briefes ausmachen, daß seinem Verfasser bereits eine Reihe von Kenntnissen zu Gebote standen, die nur durch mannigfache Versuche gefunden sein können, und die man bisher bei seinen Zeitgenossen nicht annehmen zu können glaubte, so läßt die letzte ebenso bequeme wie naive Art, eine vorgefaßte Meinung, oder wenn man lieber will, eine Theorie durch den Versuch zu bestätigen, erkennen, daß er in scholastischen Anschauungen noch völlig befangen war, und so gewähren seine Arbeiten einen Einblick in die Art, wie die experimentelle Forschung die ihr angelegten Bande nur nach und nach zu sprengen imstande war.

Den zweiten Teil seines Briefes, der viel kürzer als der erste ist, hat Petrus der Bussole gewidmet, zu deren Herstellung er zwei Vorschläge macht. Zufolge des einen soll man einen nach den Polen mandelförmig zugeschärften Magneten in eine Holzschachtel bringen, diese nachdem sie genügend gedichtet worden ist, auf das Wasser setzen und die Nordsüdlinie darauf bezeichnen. Ein drehbar aufgesetztes Lineal

---

[1]) Et si tunc lapis moveatur secundum celi motum, gaudeas te esse assecutum secretum mirabile; si vero non, imperitie tue, potuis quam nature defectus imputetur (S. Hellmann a. a. O., Epistola etc., S. [8]).

mit zwei nach oben gekehrten Spitzen läßt dann leicht das Azimuth der Sonne, des Mondes oder eines Sternes im Horizont erhalten, wenn man den Deckel vorher mit einer Kreisteilung versehen hat. Der für uns bedeutungsvollere zweite Vorschlag verlangt ein zylindrisches Messinggefäß mit Glasdeckel, in welchem einerseits, im Boden anderseits Spitzen laufen, die die Enden eines runden messingenen oder silbernen Stabes bilden. Der Stab besitzt in seiner Mitte zwei Durchbohrungen, die etwas übereinander liegen und senkrecht zueinander stehen. In die untere wird ein Eisendraht, in die obere ein Messing- oder Silberdraht gesteckt, auf dem Deckel eine Teilung und um die Achse drehbar eine Regel mit Diopterspitzen angebracht. Wird dann der Eisendraht durch Auflegen des Magnetsteines auf den Deckel magnetisiert, so stellt er sich in die Nordsüdrichtung ein und der Apparat kann als Bussole dienen[1]).

Nach dieser Beschreibung des Peregrinus werden auch die oben erwähnten Mitteilungen Neckams, Contimprés' und Bailaks verständlich. War die Nadel keine Stahlnadel, so mußte sie vor jeder Beobachtung neu magnetisiert werden, indem man einen nicht zu großen Magnetstein rasch nahe an sie heranbrachte und wieder wegzog. Sie behielt dann für eine kurze Zeit den in ihr erregten Magnetismus. Der Stab oberhalb der Nadel dürfte wohl als Zeiger aufzufassen sein, dessen Anwendung wohl die Gewohnheit, die schwimmende Nadel in einen Halm zu stecken, zugrunde lag. Bei seiner Benutzung mußte dann die Bezeichnung Ost oder West an die Stelle von Nord treten, wie wir es in den alten Berichten hier und da in der Tat finden[2]). Den Schluß des zweiten Teiles der Epistola bildet der Entwurf eines Perpetuum mobile, welches freilich ebensowenig bewegungsfähig war, wie der vom Himmelsgewölbe in Drehung versetzte kugelförmige Magnet. Deshalb ist auch gar nicht daran zu denken, in ihm, wie Potamian[3]) tut, die erste Idee eines magnetischen Motors sehen zu können. Ebenso ist die Angabe Thévénots, Roger Baco und Petrus Pe-

[1]) Die hierfür von Arnold gegebene Figur a. a. O., S. 601, Fig. 2 ist von Potamian entworfen und findet sich nicht in Petrus' Epistola.

[2]) Für die ausführliche Begründung der im Text gegebenen Erfindungsgeschichte des Kompasses siehe Gerland, Der Kompaß bei den Arabern und im christlichen Mittelalter, Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften, 1906, Bd. VI, S. 9.

[3]) Potamian a. a. O., S. 515.

regrinus hätten auch die Deklination gekannt, die von dem letzteren zu 5° bestimmt worden sei, in das Reich der Fabel zu verweisen. Zwar enthält das Exemplar der Epistola, welches sich in Leiden befindet, eine solche Bestimmung, aber diese ist, wie Wenckebach[3]) nachgewiesen hat, ein in späterer Zeit in die Handschrift eingetragener Zusatz. Bei der Art der Beobachtung, die zu Zeiten des Petrus, also vor der Anwendung dauernd magnetisierbarer Nadeln, allein üblich war, wäre es auch gar nicht möglich gewesen, so kleine Abweichungen mit Sicherheit nachzuweisen.

g) Die Uhren und das Schießpulver.

Die früheren Darstellungen der Geschichte der Physik und der Mechanik wiesen in der das Mittelalter behandelnden Zeit eine große Lücke auf. Unvermittelt traten in schier unbegreiflicher Vollendung die Ergebnisse der Arbeiten der Forscher auf, die an der Schwelle der neuen Zeit stehen, und ihre Befähigung schien alles weit hinter sich zu lassen, was das Altertum und die Neuzeit geleistet hatten. Daß es durch eine Reihe von Arbeiten der neuesten Zeit gelungen ist, in einigen Zweigen der Physik, namentlich der Mechanik und dem Magnetismus, diese Lücke auszufüllen, haben wir gesehen, in anderen dürfen wir ähnliches hoffen, in mehreren aber ist eine derartige Aussicht sehr gering. Dies gilt namentlich für zwei Erfindungen, die zu Lebzeiten Roger Bacos in verhältnismäßiger Vollendung hervortraten und von denen die eine sogar Roger zugeeignet wurde. Es sind die Räderuhren und das Schießpulver.

Räderwerke hatte man freilich bereits zu Zeiten der älteren Alexandriner mit den Klepsydren verbunden. Nun aber ließ man die Werke durch ein aufgezogenes Gewicht treiben, verhinderte aber deren Abschnurren, indem man als Hemmung zwei eiserne Platten sich ihnen entgegensetzen ließ, die, einen Winkel von 45° bildend, oben und unten an einer drehbar gelagerten eisernen Stange angebracht waren, deren oberes Ende eine horizontale mit verschiebbaren Gewichten versehene weitere Eisenstange trug. Die Platten aber waren so vor den dreieckigen Zähnen eines Rades, des Steigrades angebracht, daß entweder

[3]) W. Wenckebach, Over Petrus Adsigerius en de oudste waarnemingen van de afwyking der magneetnaald. Mulders Natuuren Scheikundig Archief 1835. Vgl. Hellmann a. a. O., Nr. 10, S. 9 u. 21.

die obere oder die untere an einem von ihnen anlag und das Rad verhinderte, dem Zug des Gewichtes zu folgen. Dieser drängte dann die Platte langsam, weil er der schweren, horizontalen Stange die nötige Bewegung erteilen mußte, zur Seite und der Zahn schnappte ab, sobald dies genügend weit geschehen war. Weiter, wie um einen Zahn konnte es freilich nicht fortrücken, denn der an der entgegengesetzten Seite des Radumfangs befindliche Zahn traf nun auf das zweite Plättchen und mußte erst dessen Bewegung anhalten, ehe er sie in die entgegengesetzte verwandeln konnte und das Rad, nachdem nunmehr auch dieser Zahn die Platte weit genug zurückgedrängt hatte, an ihr vorbei gehen konnte. Die Bewegung des Steigrades wurde dann durch ein Räderwerk auf einen oder mehrere Zeiger übertragen, und so waren Uhren hergestellt, die als Turmuhren oder Tafeluhren, bei denen der mit Gewichten beschwerte Arm durch die Unruhe, ein horizontales Rad mit massigem Umring ersetzt wurde, nicht übermäßig gleichmäßig gingen, aber doch alle früheren Zeitmesser an Genauigkeit weit hinter sich ließen.

Eine solche Uhr war es, welche ein gewisser Heinrich von Wiek (de Vico) für König Karl V. von Frankreich (1364 bis 1380) baute, und daraufhin hat man in ihm den Erfinder dieser schönen Apparate sehen wollen. Das ist aber deshalb unmöglich, weil schon früher derartige Uhren hergestellt wurden. Schickte doch bereits 1232 der Sultan von Ägypten dem Kaiser Friedrich II. eine solche Räderuhr, die die Stunden, den Lauf der Sonne, des Mondes und der Sterne anzeigte[1]), und hundert Jahre später besaß Karl der Kühne von Burgund eine solche, die die Stunden schlug[2]), in der Mitte des 14. Jahrhunderts aber waren Jakob und Johann Dondi zu Padua als Verfertiger solcher Uhren berühmt[3]). Seitdem begegnet man ihnen immer häufiger, und namentlich war ihre Herstellung in der nämlichen Zeit in der Schweiz bereits zu einem Industriezweig geworden. Eine Schweizer Turmuhr wurde 1348 in Dover Castle aufgestellt; ihr Werk ist nach der Natur aufgenommen in der Ge-

---

[1]) Trithemius, Annales Hirsaug. I ad ann. 1232. Vgl. Saunier, Die Geschichte der Zeitmeßkunst. Deutsch von G. Speckhardt, Bautzen 1902, S. 202.

[2]) Barrington in Beckmann, Beiträge zur Geschichte der Erfindungen. Bd. I. Göttingen 1774, S. 302.

[3]) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 597.

schichte der physikalischen Experimentierkunst[1]) von Gerland und Traumüller abgebildet.

Die Einrichtung dieser Uhren ist nun von einer solchen Einfachheit bei größter Zweckmäßigkeit, daß gar nicht daran zu denken ist, sie seien so auf einmal erfunden worden. Pierre le Roy mag also Recht haben, wenn er sagt[2]): „Es ging über die Geisteskräfte eines einzelnen Menschen hinaus, eine so tiefgehende Kunst sogleich zur Vollkommenheit zu bringen, dazu waren Jahrhunderte nötig," einer Ansicht, der sich auch Berthoud[3]) anschließt. Wie konnte es auch anders sein bei Apparaten, deren Beschreibung nicht veröffentlicht wurde, die für sich selbst zu sprechen hatten. Waren es doch die Arbeiter, die Verbesserungen an Verbesserungen, neue Erfindungen an ältere anschlossen. Sie zu veröffentlichen hatten sie weder Zeit noch Beruf, was aber der Meister zugefügt hatte, das erfuhr der Geselle und führte es, Meister geworden, weiter fort. Erst spät kam man dazu, von den nun vorhandenen Meisterwerken zu reden, sie zu beschreiben und abzubilden, blieb einer späteren Zeit vorbehalten. So sind Schöpfer so schöner Werke längst vergessen, ihr Werk aber hat sie überdauert.

Wie die der Uhren, so ist die Erfindungsgeschichte des Schießpulvers in Dunkel gehüllt. Zwar nennt auch hier die Überlieferung einen Erfinder, den Mönch Berthold Schwarz in Freiburg i. B., der es 1313 durch Zufall entdeckt haben soll; dies kann jedoch nicht zutreffen, denn viel früher beschreiben bereits Albert von Vollstädt und Roger Baco seine Darstellung aus Schwefel, Salpeter und Kohle. Sie scheinen ihre Kenntnisse aus dem Werke des Markus Graecus geschöpft zu haben, das in der Handschrift unter dem Titel »Liber ignium ad comburendos hostes« auf der Pariser Bibliothek gefunden und 1804 von Laporte-du-Theil in Druck gegeben worden ist[4]). Über Markus ist sonst so gut wie nichts bekannt, die einen setzen ihn in das 13.[5]), die anderen in das 8. Jahrhundert[6]).

---

[1]) Leipzig 1899, S. 81. — [2]) Saunier-Speckhart a. a. O., S. 198.

[3]) Littrow in Gehlers physikalischem Wörterbuch, 2. Aufl., Bd. IX, 2. Abt. Leipzig 1839, S. 1111.

[4]) Poggendorff, Biographisch-literarisches Handwörterbuch. Leipzig 1863, Bd. II, Spalte 45.

[5]) S. Poggendorff a. a. O. und E. v. Lippmann, Abhandlungen und Vorträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. Leipzig 1906.

[6]) Kopp, Geschichte der Chemie. III. Teil. Braunschweig 1845, S. 226. — Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 87. — Rosenberger,

Albertus geht in seinen Mitteilungen nicht über diesen Gewährsmann hinaus, während Roger selbständiger verfährt; aber er verhüllt das Rezept für die Zusammensetzung des Pulvers in ein Anagramm, aus dem sich nicht ohne willkürliche Abänderung die Worte carbonum pulvere herauslesen lassen. Immerhin ergibt sich nach Hime, daß Roger Kenntnis von einer Schwarzpulvermischung gehabt haben muß[1]). Das griechische Feuer, welches den Kaiser Konstantin IV. Pogonatus von Byzanz im Jahre 670 den Sieg über die Konstantinopel angreifenden Araber erfechten ließ, hat mit dem Schießpulver nichts zu tun, es bestand wahrscheinlich der Hauptsache nach aus Erdöl und gebranntem Kalk[2]), der Gebrauch des Schießpulvers aber konnte den Griechen und Römern schon deshalb nicht bekannt sein, weil sie den wichtigsten seiner Bestandteile, den Salpeter, nicht besaßen. Jene auf dem Wasser sich entzündende Mischung wurde von den Schiffen aus mit Hilfe doppelt wirkender Druckpumpen, den Feuerspritzen des Altertums, wie wir sahen, aus langen Metallrohren auf die Feinde geschleudert, die Rohre aber waren als Rachen wilder Tiere ausgebildet, wie solche bereits zur Zeit der Römer als Feldzeichen gedient hatten. Auf solche Feuerrohre dürften solche Feldzeichen, die an Stangen oder auch an Seilen gehalten wurden, hindeuten. Gegen die Ansicht Romockis[3]), der sie für Warmluftballons halten möchte, dürfte doch geltend zu machen sein, daß keine der uns erhaltenen Nachrichten solche erwähnt. Den Salpeter mußten die Chinesen gehabt haben, wenn die Überlieferung Recht hat, daß ihr 1164 verstorbener Feldherr Weisching als erster ein aus Salpeter, Kohle und Schwefel bestehendes Schießpulver benutzt habe. Als sicher hat man bisher die Nachricht angenommen, daß die Chinesen bei der Belagerung von Pinking durch die Mongolen im Jahre 1232 Anwendung vom Schießpulver gemacht hätten, indessen haben die Untersuchungen Lessings ergeben, daß in den chinesischen Texten kein Wort zu finden ist, das den Zusatz von Salpeter zu dem damals von den Chinesen verwen-

---

Geschichte der Physik. I. Teil. Braunschweig 1882, S. 96. — Heller, Geschichte der Physik. I. Bd. Stuttgart 1882, S. 204.

[1]) Guttmann, Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften 1905, 4. Jahrg., S. 425.

[2]) v. Lippmann a. a. O., S. 130.

[3]) v. Romocki, Geschichte der Explosivstoffe. Berlin 1895, Bd. I, S. 161. Vgl. Feldhaus, Illustrierte aeronautische Mitteilungen 1906, S. 113.

deten Schießpulver beweisen könnte[1]). So muß es dahingestellt bleiben, ob die Chinesen dessen Erfindung selbständig gemacht haben. Oppert freilich ist der Ansicht, daß dieser Ruhm den alten Indern gebühre, und daß der buddhistische König Asoka, der von 259 bis 222 v. Chr. lebte, bereits das Schießpulver benutzt habe[2]).

Aus dem Mitgeteilten dürfte sich ergeben, daß auch die Erfindung des Schießpulvers bisher keineswegs aufgeklärt worden ist, und daß wenig Aussicht für uns besteht, dies Ziel jemals zu erreichen, schon deshalb nicht, weil man die Erfindung des ebenso gefährlichen wie wertvollen Stoffes in Geheimnis zu hüllen suchte. So ist es denn auch noch keineswegs ausgemacht, ob dem Mönche Berthold Schwarz, richtiger Berthold dem Schwarzen, ein Anteil daran zukommt. Die Nachrichten über ihn hat H. Hansjakob[3]) gesammelt und ist im Anschluß an die Schrift des Schweizer Theologen Felix Hemmerlin (Malleolus), die um 1450 in Dialogform unter dem Titel „Über den Adel und die Bauerschaft" erschien, zu dem Ergebnis gekommen, daß um 1250 Berthold beim Erwärmen von Quecksilber Schwefel und Salpeter ein explosives Gemisch erhalten und für seine Anwendung Kanonen hergestellt habe, welchem Ergebnis sich E. v. Lippmann anschließt[4]), indem er es auf Grund einer aus dem Jahre 1584 von André Theret herrührenden Mitteilung dahin erweitert, daß der eigentliche Name des Mönches Konstantin Anklitzen gewesen sei, der beim Eintritt in den Franziskanerorden den Namen Berthold angenommen habe. Nach den eingehenden Untersuchungen von Feldhaus[5]) ist dies aber nicht die älteste Nachricht über den Erfinder, ihre Glaubwürdigkeit nicht über allen Zweifel erhaben. Diese ist in dem in Handschrift im Germanischen Museum in Nürnberg aufbewahrten, 1425, vielleicht schon 1410 verfaßten „Fürwerckbuch" enthalten[6]), wonach der „Maister perchtold", um eine Goldfarbe zu brennen, Salpeter, Schwefel, Blei und Öl in einem Hafen

---

[1]) Feldhaus, Die ältesten Nachrichten über Berthold den Schwarzen, den angeblichen Erfinder des Schießpulvers. Chemiker-Zeitung 1907, Jahrg. 31, S. 831.

[2]) Oppert, Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften 1905, 4. Jahrg., S. 424.

[3]) Hansjakob, Der schwarze Berthold. Freiburg i. B. 1891.

[4]) E. v. Lippmann a. a. O., S. 141.

[5]) Feldhaus a. a. O., S. 832 ff.

[6]) Handschrift 1481a des Germanischen Museums zu Nürnberg, Bl. 33b.

erhitzte und dabei einen explosiven Körper erhielt, in welchem er bei späteren Versuchen das Blei und Öl durch Kohle ersetzte. Ähnliches berichten etwas jüngere denselben Gegenstand behandelnde Schriften, die freilich über Bertholds Wohnort weit auseinandergehende Angaben machen. So kommt Feldhaus[1]) zu dem Ergebnis, daß die Kriegstechniker des 15. Jahrhunderts die Erfindung des Schießpulvers und des Geschützes durch einen gelehrten deutschen (Bernhardiner-)Mönch, namens Berthold der Schwarze, Magister der freien Künste und Alchemist, auf das Jahr 1380 legen, und daß acht Jahre später der Erfinder wegen seiner Ausübung der schwarzen Kunst hingerichtet wurde.

4. Übergang zur neuen Zeit.

a) Der Niedergang der Scholastik. Nikolaus von Cusa und Regiomontan.

Roger Baco hatte seine Auflehnung gegen die Scholastik im Kerker büßen müssen, seine Lehre hatte trotzdem lebendig fortgewirkt. Sie wurde selbständig weiter gebildet von Nikolaus de Cusa (Cusanus), aber der vielgewandte und für die schwierigsten Verhandlungen brauchbare Mann stieg zu den höchsten Kirchenwürden, trotzdem er sich Ähnliches zuschulden kommen ließ, ohne daß man ihm das Aufgeben seiner Opposition gegen den Papst als Schwäche des Charakters anrechnen dürfte. Er war 1401 zu Kues am linken Moselufer unweit Trier als Sohn des Schiffers Johannes Chrepffs (Krebs) geboren und auf Kosten des Grafen Ulrich von Manderscheid in der Schule der „Brüder des gemeinsamen Lebens" erzogen worden. Später studierte er in Heidelberg, wo seine Matrikel auf »Nicolaus Cancer de Coesze clericus Trever. dyci.[2]«) ausgestellt wurde, und in Padua und wollte zunächst Jurist werden. Bald aber trat er in den Dienst der Kirche über, in dem er es zum Cardinal »ad vincula St. Petri« brachte. Als solcher wurde er nach Konstantinopel geschickt, um für die Vereinigung der griechischen und der römischen Kirche tätig zu sein. Wenn er auch das gewünschte Ziel nicht erreichte,

---

[1]) Feldhaus a. a. O., S. 833.

[2]) Töpke, Die Matrikel der Universität Heidelberg von 1386 bis 1662. Bd. I, S. 128. Vgl. Cantor, Vorlesungen über die Geschichte der Mathematik. 2. Aufl. II. Bd. Leipzig 1899, S. 186.

so brachte er doch wertvolle griechische Manuskripte mit nach Rom. Später erhielt er das Bistum Brixen. Streitigkeiten mit dem Erzherzog Sigismund von Österreich wurden aber Ursache, daß er das Vertrauen der zu seinem Bistum Gehörenden verlor. Während der Aussöhnungsversuche ereilte ihn 1464 in Todi, wo er sich gerade aufhielt, der Tod.

Wie Roger Baco setzte der Cusaner der Geisteswelt die Körperwelt gegenüber. Alle Erkenntnis, deren der Geist fähig ist, beruht aber auf Messen. Jedes Messen aber ist eine Vergleichung mit einem zugrunde gelegten Maße. Das Verhältnis der zu messenden Größe zum Maße kann aber nur durch Zahlen gegeben werden. Soll aber die Zahl nicht in ihrem Wesen aufgehoben werden, so kann sie weder ins Unendliche zunehmen, noch herabgehen. Geschieht das letztere, so muß eine untere Grenze erreicht werden, die der Cusaner als Einheit nimmt, welche demnach nicht als Zahl, wohl aber als das allen Zahlen Zugrundeliegende erscheint. Wie nun die Einheit die Grenze der Zahl, so ist der Punkt die Grenze der Linie und mit ihr auch der Fläche und des Körpers. Nun kann zwar der Geist die Teilung bis ins Unendliche fortführen, aber das geht nur im Gedanken, in Wirklichkeit wird beim Teilen eine Grenze erreicht werden, über die nicht hinausgegangen werden kann, diese Grenze aber ist das Atom. So ist das Atom eine Quantität, die um ihrer Kleinheit willen nicht mehr geteilt werden kann[1]), und so ist hier die Möglichkeit erwiesen, „den Begriff des unteilbaren Punktes, diesen als starre Größe gedacht, mit dem Begriff des Kontinuums in widerspruchslose Verbindung zu bringen[2])". Ebenso aber ist jedes Kontinuum in immer wieder teilbare Teile, deren Zahl bis ins Unendliche wächst, zu zerlegen und umgekehrt aus ihnen wieder zu erhalten, zu explizieren. So ist die Linie die Explikation des Punktes, die Zahl die Explikation der Einheit, die Zeit die Explikation des Zeitmomentes, die Bewegung die Explikation der Ruhe, insofern jene als reihenweise Anordnung der Ruhezustände aufzufassen ist. Die den Körper bildenden Punkte sind dessen Elemente, da er durch vier Punkte bestimmt ist, so sind soviel für sein Bestehen notwendig. Ein Körper kann also kein Element sein, er ist »elementatum«, elementiert. Ein Elementiertes

[1]) Nicolai de Cusa Opera. Basileae 1555. De ludo globi t. I, cap. 8. S. 211. Est enim atomus quantitas, ob sui parvitatem actu indivisibilis.

[2]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Bd. I. Hamburg und Leipzig 1890, S. 278.

aber kann nie in seine Elemente zerlegt werden[1]). Der Cusaner versteht also unter diesen vier Elementen nicht die des Empedokles oder Aristoteles.

Sich von diesen philosophisch-mathematischen Erörterungen zu den physikalischen wendend, sucht Nikolaus zunächst nach einem für sie zugrunde zu legenden Maße. Er findet ein solches im spezifischen Gewichte der Körper, und da dieses mit der Wage bestimmt werden muß, so hat er sich eingehend mit Versuchen beschäftigt, welche mit ihr angestellt werden können und geeignet sind, über so manche noch dunkle Frage Licht zu verbreiten. Er selbst scheint freilich nur wenige von diesen Versuchen angestellt zu haben, und so dürfte er in dieser Hinsicht nicht über Roger Baco hinausgehen. Andererseits beweisen seine Vorschläge, wie klar er sich über die Fragestellung der zu unternehmenden Versuche war. Sie sind zum Teil in unserer Zeit wirklich angestellt worden, und das wiederum stellt seine Arbeiten weit über das des Franziskaners von Ilchester. Die sie enthaltende Schrift: Nicolai Cusani de staticis experimentis dialogus ist 1550 in Straßburg herausgegeben und enthält die Unterredung eines Mechanikers und eines Philosophen, in welcher der erstere die Vorschläge, die der Kardinal zu machen hat, vertritt. Ausgehend von der zu erweisenden Tatsache, daß gleiche Volumina Wasser nicht immer gleiches Gewicht haben, daß aber namentlich das spezifische Gewicht des Blutes und des Harnes ein bestimmtes sein muß, macht er den Arzt auf den Nutzen aufmerksam, den ihm die Wägung dieser Flüssigkeiten gewähren kann. Der Pflanzenkundige wäge eine gewisse Menge Erde, sowie die in sie eingelegten Samenkörner, lasse diese keimen und wäge nach einer bestimmten Zeit die Erde und die daraus gewachsenen Pflanzen, um zu bestimmen, wieviel Substanz diese aus der Erde erhalten, wieviel Wasser sie aufgenommen haben. Verbrennt man sie und wägt die Asche, so würde man das Gewicht dieses Wassers bestimmen können. Das spezifische Gewicht der Erde müßte man erhalten, wenn man das Gewicht der Raumeinheit bestimmte und aus dem bekannten Durchmesser und Umfang ihren Inhalt berechnete. So ließe sich auch durch Wägung der nämlichen Zahl Weizenkörner aus höheren und niederen Breiten die Wirkung der Sonnenstrahlen daselbst, sowie durch Anhängen eines Magneten an die Wage die Stärke der magnetischen Anziehung finden. Aber auch andere

[1]) Nicolai de Cusa Opera etc. De conjecturis t. II, cap. 4, S. 97.

Versuche, denen anstatt der Gewichtsbestimmungen Zeitmessungen zugrunde gelegt werden sollen, müssen wichtige Ergebnisse erzielen lassen, wobei er als Uhren Wasseruhren zu verwenden gedenkt. So würde es für die Beurteilung von Krankheiten gewiß nützlich sein, wenn man die Zeit von 100 Pulsschlägen und Atemzügen bei Kranken und Gesunden vergleicht, während es für unsere physikalische Erkenntnis von größtem Vorteile wäre, wenn man die Fallzeiten von Körpern gleichen Gewichtes verschiedenen und desselben Stoffes, aber verschiedener Form, z. B. ein Stück Holz, eine Bleikugel und eine Bleiplatte bestimmte. Das Gewicht des jedesmal ausgeflossenen Wassers wäre mit der Wage zu bestimmen. Der Vorschlag, den der Philosoph macht, auch das Gewicht der Luft zu untersuchen, wird vom Mechaniker zur Konstruktion des ersten Hygrometers benutzt. Es soll auf die eine Wagschale ein wenig zusammengepreßte Wolle, auf die andere ein sie äquilibrierender Stein gelegt werden, welche Wolle der Maler und Baumeister Leo Battista Alberti[1]) (1404 bis 1472) durch einen trockenen Schwamm ersetzte. Das Auf- und Abschwanken des Wagebalkens ließ dann auf Zu- oder Abnahme der Luftfeuchtigkeit und demgemäß auf das zu erwartende Wetter schließen. Der Vorschlag, die Zeit des Aufsteigens verschieden großer und verschiedenartiger, unter Wasser getauchter Hölzer zu beobachten, führte den Kardinal auf die Angabe des ersten Bathometers. An eine Hohlkugel sollte ein Gewicht so befestigt werden, daß ein Aufstoßen des Gewichtes die Verbindung beider löste. Bestimmte man nun die Zeit, die Gewicht und Kugel brauchten, um durch eine bestimmte Höhe im Wasser herabzusinken, und diejenige, in welche die Kugel ohne Gewicht aufsteigend dieselbe Höhe durcheilte, so war es möglich, die Tiefe zu bestimmen, in welcher bei einem angestellten Versuche sich Gewicht und Kugel getrennt hatten.

Ob der Kardinal diese Versuche oder doch wenigstens einige von ihnen angestellt hat, wissen wir nicht. Wollte man einen Schluß aus den von ihm hinterlassenen Apparaten als bindend erachten, so würde die Antwort verneinend ausfallen. Nur einige astronomische Apparate wie sie damals alle Welt benutzte, sind von ihm übrig geblieben[2]). Mit Astronomie aber hat er sich auch eingehend beschäftigt, und es wäre verwunderlich, daß man seinerzeit die Lehre, daß die Erde ein Stern sei,

---

[1]) Alberti, L'architettura. Venedig 1565, S. 366.

[2]) Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 83.

wie andere auch, welcher sich bewege, ruhig hinnahm, die einen ihrer späteren Verkünder vor die Inquisition führen sollte, wenn er nicht der Sonne ihre Bewegung gelassen hätte. Ein Vorläufer des Kopernikus ist er deshalb nicht geworden. Zwar bewegt sich seiner Ansicht nach die Erde[1]), aber sie dreht sich nicht um die Sonne, sondern wie diese und der ganze Fixsternhimmel um die Pole der Weltachse; außer dieser Bewegung führt sie aber noch zwei andere aus, sie dreht sich um zwei im Äquator befindliche Punkte und endlich um ihre Achse. Da alle diese Bewegungen im Sinne des Aristoteles natürliche sind, so bedürfen sie weiter keines Antriebes. Während aber die Umdrehung um die Achse und um die Pole im Äquator in 24 Stunden erfolgt, so wird die Bewegung um die Pole des Weltalls in der Hälfte dieser Zeit ausgeführt. Dabei bleibt die Sonne gegen die Fixsterne etwas zurück und durchläuft dadurch scheinbar den Tierkreis. Einen Fortschritt gegen das System des Ptolemaios stellt das des Cusaners kaum dar. Neu ist nur die Annahme, daß sich die Erde bewege, und die Erklärung der Tatsache, daß wir von dieser Bewegung nichts merken, durch den Hinweis darauf, daß man auf einem sich bewegenden Schiffe still zu stehen glaube, während sich das Ufer zu bewegen scheine. Die Sonne aber glaubte er von gleicher Beschaffenheit, wie die Erde halten zu müssen. Doch sei sie von einer leuchtenden Schicht umgeben, zwischen welcher und dem Sonnenkörper sich dunkle Wolken befinden sollten.

Wenn nun die dargelegten Ansichten über die Bewegungen der Erde eine Fortentwicklung der Lehre des Aristoteles bilden, ohne deren Grundlagen aufzugeben, so gilt das nämliche von denjenigen, die er sich offenbar unter dem Einflusse der Arbeiten des Philoponus von der Bewegung der Körper gebildet hatte. Er hat sie in seiner Schrift „Über das Kugelspiel" (de ludo globi)[2]) niedergelegt und bemüht sich darin, die den Anschauungen der Peripatetiker anhaftenden Schwierigkeiten hinsichtlich bewegter irdischer Körper zu beseitigen. Diese lagen aber darin, daß ein Bewegtes in steter Berührung mit dem Bewegenden gedacht werden mußte. Indem er nun das Rollen einer Kugel auf einer ebenen Unterlage seiner Betrachtung unterwirft, kommt er zu dem Ergebnis, daß sie eines Antriebes zwar bedürfe, aber nicht wieder zur Ruhe kommen werde, wenn sie diesen

---

[1]) Humboldt, Kosmos, Bd. III. Stuttgart und Tübingen 1850, S. 408.

[2]) Opera Cusani. ed. Basileae 1565. S. 213 ff.

einmal erhalten habe. Wenn trotzdem ihre Bewegung nachlasse, ja aufhöre, so geschehe dieses, weil sie keine ihr innewohnende natürliche, sondern eine von außen wirkende, ihr gewaltsam eingeprägte sei. „Läßt also der Antrieb, der ihr eingeprägt ist, nach[1])," so erlischt die Bewegung, die nur fortdauern würde, wenn die Kugel vollkommen rund wäre; denn dann würde sie die ebene Unterlage nur in einem Atom berühren, wie sollte sie aber über einem solchen zur Ruhe kommen können. So drängt, wie Philoponus auch den Cusaner die Betrachtung der Bewegung irdischer Körper zur Annahme eines motus impressus oder eines übertragenen impetus impressus, der notwendig auf den Begriff des Beharrungsvermögens führen mußte. Eine Erklärung der beobachteten Tatsachen sah aber weder der Kardinal noch die nächstfolgende Zeit in dieser Annahme, sie wurde eher als ein Aufgeben der Möglichkeit einer Erklärung aufgefaßt. Denn sie tritt uns nun als eine geheimnisvolle Kraft entgegen, die allerdings der mystischen Wissenschaft jener Zeit als willkommene Annahme erschien. Impressionen nannte die Astrologie lange noch die feurigen und wässerigen Meteore, und noch Paracelsus hielt die Lehre von den Impressionen für einen der wichtigsten Teile der kabbalistischen Magie[2]).

Mit der Annahme einer bewegten Erde konnte der Kardinal freilich nicht durchdringen, aber auch gegen seine Vorschläge zur Verbesserung des julianischen Kalenders, die schon Roger Baco für nötig erachtet und deshalb dem Basler Konzil vorgelegt hatte, erwies sich die Kirche taub. Obwohl die Notwendigkeit der Verbesserung anerkannt wurde so machte doch die auf dem Konzil eintretende Spaltung ein Vorgehen in der gewünschten Richtung unmöglich, die Einführung einer solchen Verbesserung mußte verschoben werden.

Um die Verdienste des Kardinals um die Naturwissenschaften vollständig zu würdigen, haben wir noch auf seinen Vorschlag, die alphonsinischen astronomischen Tafeln zu verbessern und auf seine tüchtigen mathematischen Arbeiten aufmerksam zu machen, die unter anderem bereits das Tangentenproblem in Angriff nahmen, ohne es allerdings nicht einmal in bezug auf den als Beispiel gewählten Kreis durchführen zu können. So sehen wir ihn nach vielen Seiten anregend wirken,

---

[1]) Impetu, qui impressus est ei, deficiente.

[2]) E. Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsvermögens. Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft 1884, Bd. 14, S. 379.

aber es war ihm nicht beschieden, es weiter als zu diesen Anregungen zu bringen.

Wie richtig aber seine Vorschläge waren, beweist der Umstand, daß nicht wenige derselben kurz nach seinem Tode, andere noch in unserer Zeit zur Ausführung gekommen sind. Die alphonsinischen Tafeln wurden 1582 durch die 1551 von Erasmus Reinhold berechneten prutenischen ersetzt, der verbesserte Kalender aber kam erst 1582 wenigstens in den katholischen Ländern zur Einführung, obwohl Papst Sixtus IV. bereits 1475 Regiomontan nach Rom hatte kommen lassen, um die nötigen Vorarbeiten in Angriff zu nehmen.

Regiomontan hieß eigentlich Johann Müller (Molitor); seinen Namen Regiomontan oder Kungsberger hat er von seinem Geburtsort Königsberg bei Haßfurt in Unterfranken erhalten, wo er 1436 das Licht der Welt erblickt hatte. Mit zwölf Jahren hatte er bereits die Universität Leipzig bezogen, war aber dann nach Wien gegangen, wohin ihn der Ruf des 1423 in Peurbach geborenen Georg Purbach, wie er von seinem Geburtsort genannt wurde, zog. Bei einem Aufenthalt in Rom hatte dieser mit Nikolaus de Cusa eifrig verkehrt und nach seiner Rückkunft nach Wien, die 1450 erfolgte, mit einer Bearbeitung von Ptolemaios' Almagest begonnen, war dann aber der Einladung des Kardinals Bessarion nach Rom gefolgt, der ihm zur Förderung seiner Arbeit sein Exemplar jener Schrift zur Verfügung stellte. Bessarion war 1395 zu Trapezunt geboren, im griechisch-katholischen Bekenntnis erzogen und bis zum Patriarchen von Konstantinopel aufgestiegen, dann aber zur römisch-katholischen Kirche übergetreten. Seine reiche Bibliothek, namentlich auch griechischer Schriftsteller, hatte er mitgebracht. Es lag nun im Interesse Purbachs, das Anerbieten des Kardinals anzunehmen. Zur Förderung seiner Arbeit freilich mußte er die griechische Sprache erlernen, und da er damit nicht rasch genug vorwärts zu kommen fürchtete, so stellte er die Bedingung, Regiomontan mitbringen zu dürfen, weil er hoffte, daß dieser die nötigen Studien rascher zu einem gedeihlichen Ende führen würde, hatte sie Regiomontan doch bereits in Wien getrieben. Auf der Reise nach Rom hielten beide als Gäste in Padua Vorlesungen, eine Sitte, die damals allgemein war. In Rom starb Purbach bereits 1461, während sein Schüler in der Person Georgs von Trapezunt einen trefflichen Lehrer fand, der 1396 in Kreta geboren, 1430 nach Italien ge-

kommen war. Bald aber übertraf der Schüler den Lehrer und wies ihm in einer Bearbeitung des Kommentars Theons zum Almagest eine Reihe von Fehlern nach, wodurch er sich ihn freilich zum unversöhnlichen Gegner machte. Solange ihn Bessarion beschützte, brauchte der Kungsberger die Feindschaft des Griechen nicht zu fürchten; als dieser aber eine Reise nach Griechenland zu unternehmen gezwungen war, ging Regiomontan nach Wien zurück, wo er die Freude erlebte, seinen von Italien mitgebrachten Bücherschatz durch eine Reihe von Manuskripten vermehrt zu sehen, die bei der Eroberung Konstantinopels durch die Türken zerstreut, durch den König von Ungarn Mathias Corvinus aufgekauft und ihm zum Ordnen übergeben worden waren. Um sie in Ruhe herausgeben zu können, zog er sich nun nach Nürnberg zurück, wo er, unterstützt von dem reichen Patrizier Bernhard Walther, eine mit einer mechanischen Werkstatt verbundene Druckerei anlegte und so die kurz zuvor von Gutenberg eingeführte Kunst zur Verwendung brachte. Ein von ihm herausgegebenes Kalendarium sowie die von ihm bearbeiteten Ephemeriden von 1475 bis 1506 wurden Ursache, daß ihm, wie erwähnt, die Arbeiten für die Verbesserung des Kalenders aufgetragen wurden, zu welchem Zwecke er sich wieder nach Rom begab. Durchführen sollte er sie freilich nicht; er starb dort bereits 1476, wie die einen sagen an der Pest, nach der Behauptung anderer an Gift, welches ihm die Söhne Georgs von Trapezunt beigebracht haben sollten[1]).

Daß er sich auch mit mechanischen Problemen beschäftigte, beweist ein Brief, den er 1471 an den Erfurter Professor Roeder schrieb. „Zwei Gewichte," heißt es da[2]), „sind aneinander befestigt und ihrer Lage gemäß im Gleichgewicht." (Die beigefügte Figur zeigt, daß das größere Gewicht e auf einer schiefen Ebene a c ruht, deren Höhe a b, deren Basis b c ist, das kleinere d an deren Höhe hängt, während die beide

[1]) S. R. Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877, S. 87 ff.

[2]) Curtze, Bibliotheca Mathematica. 3. Folge, 2. Bd., 1901, S. 355: »Duo sunt pondera colligata atque secundum situm equipollentia, quorum alterum quidem recte, alterum vero oblique descenderet, si a communi ligatura solverentur. Via autem obliqua secundi ponderis cum orizonte angulum continet viginti graduum, qualium unus rectus est nonaginta: quero proportionem talium ponderum. Equipollentia autem voco pondera, que sese vicissim a descensu prohibent. Ut si b i recta vice orizontis intelligatur, a b autem ad centrum mundi vergat, et a c cum b c angulum viginti graduum contineat, d pondus minus per a b, et e pondus maius per a c descensum petat abjecto communi vinculo.

verbindende Schnur über eine am oberen Ende der schiefen Ebene a angebrachte Rolle gelegt ist.) „Wenn sie von der sie verbindenden Schnur getrennt werden, wird das eine in senkrechter, das andere in geneigter Richtung sich bewegen. Der geneigte Weg des zweiten Gewichtes macht mit dem Horizonte einen Winkel von 20 Graden, von welchen ein rechter Winkel 90° enthält. Ich frage, in welcher Beziehung beide Gewichte stehen müssen. Im Gleichgewicht befindlich nenne ich solche Gewichte, welche sich gegenseitig am Herabsinken verhindern. Zieht man also bc als eine horizontale Gerade, ab aber als eine gegen das Zentrum der Welt gerichtete und läßt ac und bc einen Winkel von 20° bilden, so strebt das kleinere Gewicht d längs ab herabzusinken und das größere e längs ac, wenn das beide verbindende Band hinweggenommen wird."

Daß Regiomontan für die von ihm gestellten Aufgaben Lösungen besaß oder doch zu besitzen glaubte, ist nach Curtze aus den von ihm in der Handschrift seines Briefwechsels vielfach hinzugefügten ausführlichen Lösungen sicher, und so würden wir die Kenntnis der Gesetze der schiefen Ebene bei ihm wohl nachweisen können, wenn er den Briefwechsel mit Roeder weiter geführt hätte.

Nach Regiomontans Tode war die von ihm gegründete erste Sternwarte Deutschlands verwaist; wenn sie auch Walther, solange er lebte, in treuer Gesinnung gegen den Verstorbenen imstande hielt, so ließ er sie doch nicht benutzen. Gleichwohl hörte deshalb die Beschäftigung mit Astronomie, Mathematik und Physik in Nürnberg keineswegs auf. War jene Zeit doch die Blütezeit der freien Reichsstadt, die damals Albrecht Dürer und seine Kunstgenossen an der Arbeit sah. Dieser selbst beschäftigte sich mit der Lösung geometrischer Aufgaben[1]), während Johannes Werner (1468 bis 1528), Johannes Schoner (1477 bis 1547), Andreas Osiander (1498 bis 1552) beobachteten und mathematische Studien betrieben, Johannes Prätorius (1537 bis 1616) den Meßtisch erfand, Martin Behaim (1459 bis 1507) von seiner Weltreise vorübergehend ausruhend, seine berühmte Weltkugel verfertigte, Georg

[1]) A. Dürer, Underweysung der Messung mit dem Zirkel und richtscheyt. Nürnberg 1525. Vgl. Cantor, Vorlesungen über die Geschichte der Mathematik. 2. Aufl. Bd. 2. Leipzig 1899, S. 459; Fink, Kurzer Abriß der Geschichte der Elementarmathematik. Tübingen 1890, S. 176.

Hartmann (1489 bis 1564) als erster die Inklination der Magnetnadel beobachtete, wovon sogleich ausführlicher die Rede sein soll.

b) Die Herstellung der ursprünglichen Texte. Die Entdeckung von Amerika. Deklination und Inklination der Magnetnadel.

Roger Baco und Nikolaus von Cusa hatten auf die Notwendigkeit, die griechische Sprache zu erlernen, aufmerksam gemacht, Regiomontan hatte es sich angelegen sein lassen, die von Mathias Corvinus zusammengebrachten Texte griechischer Schriftsteller durch den Druck allgemein zugänglich zu machen. Sie hatten schon Vorgänger gehabt in diesen Bestrebungen, die durch die arabischen Übersetzungen und lateinischen Rückübersetzungen vielfach verderbten griechischen Texte in ihrer ursprünglichen Reinheit wieder herzustellen. Bereits Petrarca (1304 bis 1374) und Boccaccio (1313 bis 1375) hatten mit Glück dasselbe versucht. Nun wanderten je länger je mehr noch vor dem Fall Konstantinopels am 29. Mai 1453 Griechen aus dem Ostreich, wie der bereits erwähnte Bessarion, dann Gemistus Plethon (gest. 1452), der Athener Demetrius Chalcondylas nach Italien, sämtlich wohl bewandert in der griechischen Sprache und mit handschriftlichen Schätzen versehen. Chalcondylas besorgte die erste gedruckte Ausgabe Homers. Eine reiche Sammlung griechischer Handschriften brachte dann nach dem Falle des Bollwerks der Christenheit Konstantin Lascaris nach Italien, und so lernte in verhältnismäßig kurzer Zeit das Abendland die unverfälschten Werke der Griechen kennen, die längst trotz ihrer Verstümmelung als Grundlage aller Wissenschaft galten[1]). Ein eifriges Studium der Schriften der Alten begann; von diesen den Namen der Humanisten tragenden Gelehrten wurde unter Führung des Rotterdamer Erasmus (geb. 1467) und des Pforzheimer Johann Reuchlin (1455 bis 1522) eine ungeahnte Fülle neuen Wissens zutage gefördert. Und nun tat Luther den letzten Schritt zur Befreiung der Geister von den Fesseln der im Laufe der Jahrhunderte verdunkelten Überlieferung, indem er durch seine Übersetzung der Bibel zeigte, daß auch ihr Urtext vielfach entstellt und sein Sinn in unverantwort-

[1]) Vgl. Humboldt, Kosmos, Bd. II. Stuttgart und Tübingen 1844, S. 289.

licher Weise umgedeutet worden war. Und als ob diese gottbegnadete, aber auch an harten Kämpfen reiche Zeit auch die letzten Fesseln sprengen sollte, in denen den Menschengeist menschliche Unvollkommenheit und menschliche Herrschsucht gefangen hielten, so sah sie auch neue ungeahnte Weltteile auf ihrer heimatlichen Erde auftauchen, gewann einen Einblick in die Ordnung des Weltgebäudes, der, wenn er auch unberechtigte Illusionen zerstörte, den Keim nicht mehr zu hemmenden Fortschrittes in sich barg.

Lebhaft war schon seit Jahrhunderten der Handel mit Indien und China, der indische Ozean diente mit Hilfe des Kompasses zahlreichen Handelsschiffen zur Straße; aber es wurde als ein großer Übelstand empfunden, daß die kultiviertesten Länder, die Staaten Europas, die so erstrebten Erzeugnisse jener im fernen Osten gelegenen Länder nicht ohne Einschaltung eines mühsamen und kostspieligen Landweges erhalten konnten. Da faßte gegen 1415 der Infant von Portugal Heinrich (1394 bis 1460), dem die Geschichte den Beinamen des Seefahrers gegeben hat, den Plan, einen Seeweg nach jenen reichen Gegenden zu suchen[1]), und nun erforschten portugiesische Schiffe die Küste Afrikas mit immer größerem Erfolg. Die Erreichung des gesteckten Zieles blieb nicht aus; 1487 umsegelte Bartolomeo Diaz das Kap der guten Hoffnung und 1498 drang Vasco da Gama auf demselben Wege in den indischen Ozean ein und fand so den Seeweg nach Indien, einen Erfolg, den freilich der Urheber des großartigen Planes, der Infant Heinrich, nicht mehr erlebte, wenn er auch die dreieckige Gestalt Afrikas längst vermutet hatte.

Aber dieser Weg war nach der Ansicht der Geographen damaliger Zeit keineswegs der kürzeste. War die Erde eine Kugel, so mußte man Indien auch erreichen können, wenn man auf einem Parallelkreise, von Spanien oder Portugal ausgehend, nach Westen segelte. Diese Frage war mehrfach am Lissaboner Hofe erörtert, als sie auf den Wunsch des Königs João II. von Portugal von dem Kanonikus Fernam Martins, dem berühmten Florentiner Arzt und Astronomen Paolo del Pozzo Toscanelli, mit dem Beinamen des Paulus Physicus, der Nikolaus von Cusa in der Mathematik unterrichtet hatte, vorgelegt wurde. Dieser beantwortete sie am 25. Juni 1474 dahin, daß er einen Seeweg nach den Gewürzlanden wisse, der kürzer

[1]) Hümmerich, Vasco da Gama. München 1898, S. 4.

sei als der, welcher von Portugal nach Guinea führe, daß dieser Weg sich aus der Kugelgestalt der Erde ergebe und man, um ihn zu benutzen, von Portugal aus nur immer nach Westen steuern müsse[1]). Hatte er doch stets die Ansicht vertreten, daß sich Asien sehr weit nach Osten erstreckte[2]). Dieser Brief und eine 1477 von dem nämlichen Gelehrten gezeichnete Karte[3]) kamen zur Kenntnis des Genuesers Christoph Kolumbus (1451 bis 1506) und ließen in ihm den Gedanken reifen, den neuen Weg einzuschlagen. Wenn man vielfach die Ansicht ausgesprochen hat, der Bericht des Venetianers Marco Polo, der 1269 bis 1295 seine berühmte Reise in das Innere Asiens bis China machte, hätten ihn dazu angeregt, so ist diese als unhaltbar zurückzuweisen, denn der Bericht erschien zuerst 1477 in deutscher, erst 1490 aber in lateinischer Sprache und ist von dem wissenschaftlich keineswegs sehr gebildeten Kolumbus sicher nicht benutzt worden. Nach Überwindung der größten Schwierigkeiten[4]) trat er die Reise an. Nach Ostindien führte sie ihn freilich nicht, dafür aber ließ sie ihn die neue Welt entdecken, welche später den Namen Amerika erhielt.

Aber er machte auch eine andere Entdeckung, die uns hier näher angeht und von der man zu seiner Zeit nichts Geringeres als eine sichere Methode, die ebenso schwierige wie wichtige Aufgabe der Längenbestimmung auf dem Meere zu lösen, erhoffte. Als er am 13. September 1492 bei Anbruch der Nacht 200 Seemeilen im Westen der azorischen Inseln die Weisung seiner Nadel mit seinen astronomischen Beobachtungen verglich, fand er eine Abweichung des Nordpoles von etwa $5^1/_2{}^0$ nach Westen von der Nord-Südlinie, als Betrag ihrer Mißweisung oder Deklination oder, wie man sie damals zunächst nannte, ihrer Variation.

Wenn nun auch kein Zweifel daran sein kann, daß Kolumbus damit zum Entdecker der für alle die vielen Verwendungen der Magnetnadel so wichtigen Erscheinung geworden ist, so fand er damit nur etwas, was in Deutschland und wahrscheinlich auch den flandrischen Seeleuten längst bekannt war. Wie wir bereits berichteten, hatte Regiomontan nach seiner Rückkehr aus Jatlien in Nürnberg eine mechanische Werkstatt aufgetan, die nach seinem frühen Tode von Walther

---

[1]) Rein, Geographische und naturwissenschaftliche Abhandlungen I. Leipzig 1892, S. 28.

[2]) E. F. Apelt, Die Reformation der Sternkunde. Jena 1852, S. 9 ff.

[3]) Humboldt, Kosmos, Bd. II. Stuttgart und Tübingen 1847, S. 300.

[4]) Rein a. a. O., S. 19 ff.

fortgesetzt und zum Vorbild ähnlicher Betriebe wurde. So bildete sich in der alten Reichsstadt die Zunft der Kompaßmacher aus. Unter Sonnenkompaß aber verstand man damals eine drehbare Sonnenuhr mit einer Magnetnadel zu ihrer Einstellung, und es war bald eine solche Nachfrage nach derartigen Werkzeugen zu genauer Zeitbestimmung, daß ihre Herstellung in der Tat ein Handwerkszweig werden konnte. Das Bedürfnis danach hörte auf, als es gelang, Uhren mit regulierbarer Unruhe herzustellen, und da die kleinen Apparate vielfach in reicher Ausstattung dargeboten wurden, die ihnen auch eine Bedeutung für die Entwicklung des Kunstgewerbes gab, so finden wir in öffentlichen Sammlungen sowohl, wie im Privatbesitz eine große Zahl solcher Kompasse, die bis gegen die Mitte des 17. Jahrhunderts verfertigt worden sind. Bald bildete sich auch in Augsburg und an anderen Orten eine blühende Industrie aus, und nicht wenige Namen der Mechaniker, die solche Kompasse gearbeitet haben, sind durch ihre Werke auf uns gekommen. So waren in Nürnberg[1]) Hieronymus und Paul Reimann, Hans Troschel, Erhard Etzlaub, Paul Pfintzing, Johannes Prätorius (1537 bis 1616), der ein wissenschaftlich hochgebildeter Mann, Professor in Wittenberg und später in Altdorf wurde, und sich durch Herstellung und Verbesserung von Apparaten der Feldmeßkunst einen Namen gemacht hat[2]), u. a., in Augsburg Christoph und Christian Schißler, in München Ulrich Schniep; aber auch italienische Mechaniker folgten nach[3]), doch wurden in Italien und wohl auch anderwärts hauptsächlich deutsche Kompasse benutzt[4]). Bei diesen Kompassen ist nun der Mißweisung in der Art Rechnung getragen, daß neben der Nord-Südlinie eine Linie eingegraben ist, über welcher die Nadel stehen muß, wenn jene den Meridian angeben soll. Der Winkel, den beide Linien bilden, ist dann die Mißweisung, und es kommt nur darauf an, nach alten Kompassen zu forschen, um die Zeit von deren Entdeckung zu bestimmen. Der älteste bisher aufgefundene Kompaß ist nun der im Museum Fer-

[1]) Joh. Neudörffer, Nachrichten von den Nürnberger Künstlern, herausgegeben von Fr. Campe. Nürnberg 1828.

[2]) Vgl. Klee, Die Geschichte der Physik an der Universität Altdorf bis zum Jahre 1650. Erlangen 1903, S. 83 ff.

[3]) Gerland, Historische Notizen. Leopoldina 1882, 18. Heft, S. 68.

[4]) Hellmann, Die Anfänge der magnetischen Beobachtungen. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin 1897, Bd. 32, S. 127.

dinandeum zu Innsbruck aufbewahrte, der wahrscheinlich für den Kaiser Friedrich III. gearbeitet war und aus dem Jahre 1451 stammte. Er ist von Hellmann[1]) genau beschrieben und abgebildet und ergibt eine Deklination von 11° östlich. Damals mußte also in Nürnberg die Mißweisung bereits bekannt sein, und damit stimmt die Tatsache, daß Purbach bei seinem 1461 erfolgten Tode ein Manuskript hinterlassen hat, welches den Titel »Compositio Compassi cum regula ad omnia climata« trägt. Weitere Sonnenuhren mit Berücksichtigung der Mißweisung aus derselben Zeit hat Wolkenhauer[2]) nachgewiesen, so eine von 1453, eine zweite von 1456, die zu dem nämlichen Ergebnisse führen. Auffallend ist hierbei aber die Größe des Deklinationswinkels. 1544 betrug er in Nürnberg nur 10°[3]) und 100 Jahre früher muß er viel kleiner gewesen sein, da die Deklination nach Bauer[4]) in Rom, Paris und London und dann doch wohl auch in Nürnberg ihren höchsten östlichen Wert erst in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts erreichte. In den Ländern am Mittelmeer aber war sie Null; den sein Becken durchkreuzenden Seefahrern konnte sie also nicht aufgefallen sein, wohl aber waren die Nordseefahrer imstande gewesen, sie zu beobachten, denn an der flandrischen und niederdeutschen Küste war sie $11^1/_4{}^0$ östlich. Nach d'Avezac[5]) unterschied man damals zwischen der flamländischen und der Genueser Bussole, von denen diese die Nord-Südlinie mit der durch die Nadel bestimmten zusammenfallen ließ, jene sie um ein Viertelwind, d. i. $11^1/_4{}^0$ in östlicher Richtung verschoben zeigte. Da liegt es denn nahe, mit Hellmann[6]) anzunehmen, daß die niederländischen Seeleute lange vor Kolumbus bereits die Mißweisung der Nadel entdeckt haben, und daß von dort aus ihre Kenntnis nach Nürnberg, das ja damals mit den Niederlanden in regem Handelsverkehr stand, gebracht worden sei. So würde auch die sonst unver-

[1]) Hellmann, Über die Kenntnis der magnetischen Deklination vor Christoph Kolumbus. Meteorologische Zeitschrift 1906, Bd. 23, S. 146.

[2]) Wolkenhauer, Beiträge zur Geschichte der Kartographie und Nautik des 15. bis 17. Jahrhunderts. Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft zu München. 1904, S. 187 ff.

[3]) Hellmann, Über die Kenntnis usw., S. 146.

[4]) Bauer, Beiträge zur Kenntnis der Säkularvariation des Erdmagnetismus. Berlin 1895.

[5]) d'Avezac, Anciens temoignages historiques relatifs à la Boussole. Bulletin de la Société de Geographie 1858. Mars.

[6]) Hellmann, Meteorologische Zeitschrift a. a. O., S. 145.

ständliche Gewohnheit ihre Erklärung finden, daß man noch in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts, als die räumliche Verschiedenheit der magnetischen Abweichung bereits bekannter geworden war, in den Kompassen den nämlichen Wert beibehielt, mochten sie nun in Nürnberg, Augsburg, Wien oder Prag gearbeitet sein. Den Kompaßmachern, die ja im Grunde doch nur Handwerker waren, ist kein Vorwurf daraus zu machen, daß sie sich mit der ihrem Zwecke entsprechenden Genauigkeit begnügten. Zwei große Fortschritte in der Herstellung der Bussole mußten sie aber gemacht oder von ihren Gewährsmännern übernommen haben, einmal den, daß sie Stahlnadeln nahmen, die dauernd und stärker wie die früher gebrauchten eisernen magnetisiert werden konnten, und den zweiten, daß sie die Nadel viel leichter beweglich aufstellten, als dies der Peregrinus getan hatte. Sie brachten zu diesem Zweck in der Mitte der Nadel ein Hütchen an, das auf eine gut gehärtete feine Stahlspitze aufgesetzt wurde, und magnetisierten sie durch Streichen mit einem Magneten. Das angewendete Verfahren schildert Georg Joachim von Lauchen, der nach seinem Heimatsort Feldkirch in Rhätien den Namen Rheticus erhalten hat, in seiner 1540 geschriebenen, aber erst 1876 in Druck gegebenen Chorographie[1]) in einer Weise, die darauf schließen läßt, daß es bereits seit langer Zeit geübt wurde. „Darnach bestrich ich," sagt er, „mit dem Nordkand (eines Magneten) das spizig tail des zunglins oder mit sudkand daß ander tail, und setz eß auf das stefftlin wie in ainen Sonnenkompaß, vnd wardt biß eß sich zw rwstellet, so zaiget eß mir von stund den ausschlag und daß spizig tail findt sich in swd." Auch geht aus des Rheticus Schrift hervor, daß man die Größe der Mißweisung, die man an verschiedenen Orten verschieden fand, für eine jeder Nadel zukommende Eigenschaft hielt, die für jedes Instrument besonders bestimmt werden mußte.

So waren die Angaben der Bussole genau genug geworden, daß sich ihrer auch die Markscheider unter Tage bedienen konnten. Ob sie, wie M. Schmidt[2]) annimmt, bereits vom 14. Jahrhundert an zu

[1]) v. Hipler, Zeitschrift für Physik und Mathematik 1876, Jahrg. 21. Historisch-literarische Abteilung, S. 124. Zum Teil abgedruckt in Hellmann, Die Anfänge usw. Zeitschrift für Meteorologie 1897, Bd. 32, S. 128 ff. Vgl. auch Gerland, Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften 1906, Bd. 6, S. 16.

[2]) M. Schmidt, Die Methoden der unterirdischen Orientierung und ihre Entwicklung seit 2000 Jahren. Himmel und Erde. Jahrg. IV. Berlin 1892. Heft 9 u. 10.

Richtungsangaben im Bergbau verwendet wurde, dürfte keineswegs erwiesen sein. Nach der Angabe des Verfassers der ältesten Bergbaukunde Georg Agricolas[1]) (1490 bis 1555) geschah dies erst seit 1530, und damit stimmt, daß der 1879 zu Neudorf am Harz aufgefundene Setzkompaß, der jedenfalls einer der ältesten seiner Art ist, die Jahreszahl 1541 trägt[2]). So redet dann auch der Freund Luthers, der Joachimsthaler Pfarrer Mathesius[3]) (1504 bis 1565) in einer 1559 gehaltenen Predigt vom Magneten als einem bekannten Werkzeug der Bergleute und Markscheider. Aber auch vom Sonnenkompaß und der Deklination redet er als von etwas allgemein Bekanntem, wenn er sagt: „Der Magnet in Nürnbergischen Compasten, soll biß in zehen grad vom mittag in morgen sich lencken." Und in derselben Weise spricht er von dem Magnetisieren einer Magnetnadel mit dem Magnetstein. Indem er aber auch die alten Fabeln sorgfältig mitteilt, beweist er, wie das Wissen seiner Zeit vom Magneten in einem Übergang begriffen war.

Die räumliche Verschiedenheit der Mißweisung der Kompaßnadel hätte sich, sollte man meinen, namentlich den Seefahrern aufdrängen müssen. Daß sie Kolumbus noch nicht beobachtete, dürfte auf Rechnung der Unvollkommenheit seiner Instrumente zu setzen sein. Denn bereits 1493 fand Gonzalez Oviedo, daß auf den Azoren die Nadel genau nach Norden wies. Reicheres Beobachtungsmaterial lieferten die vielen Fahrten nach Amerika, die auf die des Kolumbus folgten, und dieses schien für eine so große Regelmäßigkeit der örtlichen Änderung der Mißweisung zu sprechen, daß man darauf eine Methode der ebenso wichtigen wie schwierigen Bestimmung der Länge gründen zu können hoffte. Die Lage der Linie keiner Abweichung aber hielt man für so unveränderlich, daß der Papst Alexander VI. in einer am 4. Mai 1493 erlassenen Bulle sie als Grenzlinie zwischen den künftigen Erwerbungen Spaniens und Portugals festsetzte. Sie wurde darin durch die Angabe bestimmt, daß sie 100 Leguas gegen Westen und Süden von den Azoren und den Inseln des grünen Vorgebirges liegen sollte, d. h. man sollte von einer dieser Inselgruppen 100 Leguas nach Südwesten segeln, um sie zu finden[4]).

---

[1]) Agricola, De Re metallica. Basileae 1656, S. 105.

[2]) A. G., Berg- und hüttenmännische Zeitung. Leipzig 1879, 38. Jahrg., S. 231.

[3]) Joh. Matthesius, Sarepta. Nürnberg 1571 (2. Aufl.). 12. Predigt. S. CXLII.

[4]) Rein, Geographische und naturwissenschaftliche Abhandlungen I. Leipzig 1892, S. 66.

In Deutschland scheint diese Grenzbestimmung wenig Interesse erregt zu haben, sonst hätte wohl der Rheticus die Erklärung für die verschiedene Abweichung der Nadeln vom Meridian an verschiedenen Orten auf ihren wahren Grund zurückgeführt. Wohl aber wurde Georg Hartmann bei seinem Aufenthalt in Rom im Jahre 1510 darauf aufmerksam. Schreibt er doch am 4. März 1544 an den Herzog Albrecht von Preußen: „Noch ist an dem Magnetstein dieses größer sich zu verwundern, daß die Züngle darmit verstrichen nicht gerade laufen der Mitternacht zu, sondern wenden sich ab von der rechten Mittag- oder Mitternachtlinie und kehren sich gegen den Aufgang zu, in etlichen Ländern um 6 Grad, wie ich solches selbst gefunden und gesucht habe, zu der Zeit zu Rom, da euer fürstliche Gnad Markgraf Gumprecht und sein f. G. Bruder bei einander zu Rom waren, aber hier zu Nürnberg finde ich, daß solcher Ausschlag ist 10 Grade, und an andern Orten mehr oder minder. Solches wird auch allzeit mit einem schwarzen Strichle unter dem Gläsle in den Compassen angezeigt, welches Strichle, wie man sieht, allewege nicht gerade auf die Mitternacht zeigt, sondern lenket sich herum gegen den Aufgang"[1]). Hartmann war 1489 zu Eckoltstein bei Bamberg geboren, hatte in Köln Theologie und Mathematik studiert und sich dann, nachdem er Italien bereist hatte, 1518 in Nürnberg niedergelassen, wo er eine mechanische Werkstatt gründete. Er wurde Vikar an der St. Sebalduskirche und starb 1564. Ob er bei seinen Beobachtungen nach dem Vorgange des Peregrinus bei seinen Dekinationsbestimmungen verfuhr, von dem er sich mehrfach abhängig zeigt, oder ob er dazu bereits den Kompaß benutzte, gibt er zwar nicht an, doch dürfte das letztere wohl anzunehmen sein. Hartmanns Bestimmungen der Deklination wurden aber nicht in größeren Kreisen bekannt, und so war der Apotheker Felipe Guillen in Sevilla der erste, der 1525 den Vorschlag in die Öffentlichkeit brachte, die Bussole zu Deklinationsbestimmungen zu benutzen und für seine zu diesem Zwecke hergestellte »Brujula de variacion« vom Könige João III. von Portugal reichlich belohnt wurde[2]). Darin sollte an einer

[1]) Der Brief wurde zum ersten Male 1831 von J. Voigt mitgeteilt in Raumers Historischem Taschenbuch II., später im Jahrgang 1838 von Doves Repertorium abgedruckt, endlich 1841 von J. Voigt in einem besonderen Werke mitgeteilt. S. Hellmann, Neudrucke usw., Nr. 10, S. 15, worin der Abdruck des Briefes, der oben benutzt wurde enthalten ist.

[2]) Hellmann, Neudrucke usw., Nr. 10, S. 10.

sonnenuhrartigen Vorrichtung mit Magnetnadel das magnetische Azimut der Sonne bei gleicher Höhe vormittags und nachmittags durch den Schatten eines in der Mitte des Instrumentes aufgestellten Stiftes bestimmt werden, deren halbe Differenz dann die Deklination ergab[1]). In ähnlicher Weise wollte Francisco Falero (Faleiro) verfahren, wie aus seinem höchst seltenen 1535 in Sevilla erschienenen Werke »Trattado del Esphera y del arte del marear« hervorgeht[2]). Er wollte entweder die Azimutbestimmung der Magnetnadel am wahren Mittag vornehmen, wenn der Schatten des Stiftes gerade nach Norden zeigte, oder die Schattenazimute bei korrespondierenden Sonnenhöhen vormittags und nachmittags oder endlich die nämlichen bei Sonnenaufgang und -untergang bestimmen. Das von Guillen angegebene Instrument verbesserte dann 1537 der Professor der Mathematik an der Universität Coimbra Pedro Nuñez, lat. Nonius (1492 bis 1577), dadurch, daß er eine Vorrichtung zur Messung der Sonnenhöhe und kleiner Bogenteile zufügte, welche letztere aber mit der fälschlich nach ihm Nonius genannten keine Ähnlichkeit hat. Dagegen kommt Nuñez das Verdienst zu, die Linie doppelter Krümmung entdeckt zu haben, die ein Schiff beschreibt, dessen Bahn alle Meridiane unter dem nämlichen Winkel schneidet, eine Linie, die er rumbus, Snellius die Loxodrome nannte, bei den deutschen Seeleuten den Namen Rhumbs erhielt[3]). Mit dem von ihm verbesserten Instrumente führte dann João de Castro, der später Vizekönig der portugiesischen Besitzungen in Indien wurde, 1538 reichhaltige und genaue Beobachtungen auf einer Reise nach Ostindien aus, welche er nach seiner Ankunft daselbst bis 1541 fortsetzte und bei dieser Gelegenheit auf der Insel Chaul unweit Bombay die Beobachtung machte, daß frei und hochgelegene Felsen einen beträchtlichen Einfluß auf die Nadel ausübten[4]). Der so von

---

[1]) Hellmann, ebenda, S. 11. Guillens Instrument wurde durch Alonso de Santa Cruz beschrieben.

[2]) Hellmann, ebenda, S. 11. Das betreffende Kapitel aus Faleros Schrift mit der Überschrift: »Del Nordestear de la Agujas« wird dort im Wortlaut mitgeteilt. Es wird in ihm die Tatsache des Mißweises der Nadel zum ersten Male ausführlich besprochen.

[3]) Cantor, Vorlesungen zur Geschichte der Mathematik. 2. Aufl., 2. Bd. Leipzig 1900, S. 390.

[4]) Hellmann, Die Anfänge der magnetischen Beobachtungen. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde 1897, Bd. 32, S. 123.

ihm entdeckte Gesteinsmagnetismus wurde freilich erst viel später Gegenstand eingehender Untersuchungen.

So verfügte man bald über eine große Zahl von Beobachtungen der Mißweisung. Da sie aber meist auf Schiffen und vielfach mit unzureichenden Apparaten angestellt waren, so stimmten sie noch herzlich schlecht mit einander überein, wie sich namentlich gelegentlich einer 1536 behufs Aufstellung einer neuen Routenkarte zwischen Westindien und Sevilla einberufenen Konferenz herausstellte[1]). Unter diesen Umständen kann es nicht wundernehmen, daß man in die Tatsache selbst immer von neuem Zweifel setzte, und daß noch 1545 Pedro de Medina (geb. 1493) sie auf die Ungenauigkeit der Beobachtungen zurückführen zu müssen glaubte[2]). Freilich blieben solche Stimmen ganz vereinzelt und konnten den Fortschritt der Wissenschaft nicht hemmen; vielmehr haben wir einen solchen von großer Bedeutung zu berichten, der in einem Briefe zuerst mitgeteilt wurde, den 1546 der 1512 in Rupelmonde in Flandern geborene, 1594 in Duisburg als Kosmograph des Herzogs von Jülich verstorbene Gerhard Mercator schrieb, derselbe, dem man die bekannte Kartenprojektion verdankt[3]). Während man bis dahin immer der Meinung gewesen war, daß sich die Magnetnadel nach dem Himmelspol richtete, so trat damals Mercator mit der andern hervor, die jetzt noch als zutreffend gilt, daß die Erde selbst ein Magnet sei und als solcher selbst Pole besitze, deren Anziehung die Richtung der Nadel bedingt. Auch er hat Deklinationsbeobachtungen hinterlassen, und da nunmehr ein verhältnismäßig reiches Material von solchen zu Gebote stand, so war der Wunsch des Prinzen Moritz von Oranien begreiflich, um eine Übersicht über sie zu erhalten, den Auftrag sie zusammenzustellen zu geben. Diesen Auftrag führte

---

1) Hellmann, Die Anfänge usw. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde a. a. O., S. 133.

2) Pedro de Medina, Arte de navegar. Lib. VI, Cap. III, VI. Vgl. Hellmann, Anfänge usw., a. a. O., S. 120.

3) Mitgeteilt von Hellmann als Nr. 6 der Neudrucke usw. Der Brief führt den Titel: »De ratione magnetis circa navigatione. Daß wie Nordenskiöld (Facsimile Atlas to the early History of Cartography. Stockholm 1889, S. 22) meint, Pirckheimer (Claudii Ptolemaii Geographicae Enarrationis Libri Octo Strassburg 1525) habe bereits beabsichtigt, Karten nach dieser Projektionsmethode zu zeichnen, ist nach Wenrauther (Konrad Peutinger und Wilibald Pirckheimer, Münchener geographische Studien, 21. Stück. München 1907, S. 23) ganz unwahrscheinlich.

Simon Stevin, von dem noch ausführlich die Rede sein wird, aus, indem er in seiner 1599 in holländischer Sprache in Leiden erschienenen Schrift De »Haverwinding« die magnetische Deklination für 42 Orte zusammenstellte.[1]) Wir geben hier nach Hellmann die zehn ältesten von ihnen[2]).

Jahr	Ort	Beobachter bzw. Gewährsmann	Magnetische Deklination
± 1510	Rom	Georg Hartmann	6° östlich
± 1518	Bucht von Guinea	Piero di Giovanni d'Antonio di Dino	11¼° „
± 1520	Wien	Johann Georg Tannstetter	4° „
± 1524	Landshut (Bayern)	Petrus Apianus	10° „
1534	Dieppe	François oder Crignon	10° „
1538	Lissabon	P. Nunes oder J. de Castro	7½° „
1539	Danzig	Georg Joachim von Lauchen (Rheticus)	13° „
1541	Paris	Hieronymus Bellarmatus	11° „
± 1544	Nürnberg	Georg Hartmann	10° „
± 1546	Insel Walcheren	Gerhard Mercator	9° „

Der oben erwähnte Brief Hartmanns an den Herzog Albrecht von Preußen ist aber für die Geschichte der Physik noch in anderer Hinsicht von großer Bedeutung. Nachdem er seine Versuche zur Bestimmung der Deklination dargelegt hat, fährt er fort: „Zu dem andern, so finde ich auch dieß an dem Magneten, daß er sich nicht allein wendet von der Mitternacht und lenket sich gegen den Aufgang, um 9 Grad mehr oder minder, wie ich es gemeldet habe, sondern er zeucht auch unter sich." Die Art, wie er beobachtete, beschreibt er folgendermaßen: „Ich machte ein Züngle eines Finger lang, das nur fleißig wagrecht oder wasserwagrecht auf einem spitzigen Stift steht[3]),

[1]) Hellmann, Neudrucke usw., Nr. 10, Zehnter Neudruck. Mit Stevins Schrift gleichzeitig erschien eine von Hugo de Groot besorgte lateinische Übersetzung des holländischen Textes.

[2]) Hellmann, Die Anfänge usw. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde, a. a. O. S. 119.

[3]) Auf dem die Nadel mit einem Stahlhütchen schwebte, was Chabot in der Besprechung von Bradherings kurzer Geschichte des Schiffskompasses übersehen hat. S. Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften 1903, 2. Jahrg., S. 65.

also daß solches nirgends sich zu der Erde neige, sondern an beiden Orten gleich in der Wage stehe, so ich aber der Örter eins verstreich, sei gleich welches Ort sei, so bleibt das Züngle nicht mehr wagrecht stehen, sondern fällt unter sich, etwa um 9 Grad mehr oder minder. Ursach, warum das geschieht, habe ich königl. Majestät nicht wissen anzuzeigen[1]." In diesem Briefe ist die Entdeckung der Inklination der Magnetnadel enthalten; da er aber, wie bereits bemerkt, zuerst 1831 der Öffentlichkeit übergeben worden ist, so hat man ihm auch seitdem erst die Ehre dieser Entdeckung zueignen können. Sie mußte also noch einmal gemacht werden, und das geschah genau in der nämlichen Weise durch den Engländer Robert Norman, einem praktischen Seemann, der sich „Hydrographer" nannte, und nach Aufgabe seines Seemannsberufs mit der Anfertigung von nautischen Instrumenten, namentlich von Kompassen beschäftigte. Dabei hatte er gefunden, daß er eine auf einen Stift aufgesetzte Nadel nach der Magnetisierung nur dadurch in wagerechter Lage halten konnte, daß er ihre Südhälfte mit ein wenig Wachs beschwerte. Zu seinem großen Ärger aber erwies sich dies Mittel nicht mehr ausreichend, als er einmal eine Nadel von 6 Zoll Länge hergestellt und fein poliert hatte. Zu seinem großen Ärger! Denn indem er weit davon entfernt war, an eine neue Entdeckung von so großer Tragweite zu denken, glaubte er seine gehabte große Mühe verloren zu haben, doch aber folgte er dem Rate einiger unterrichteter und erfahrener Freunde, die Erscheinung durch genaue Versuche zu prüfen und namentlich zu bestimmen, um wieviel die mit dem Magnet berührte Nadel sich neigen würde[2]). Er versah sie also mit einer horizontalen in zwei Spitzen auslaufenden Achse und beobachtete so einen Neigungswinkel von 71° 50′. So wurde er der Entdecker der Inklination, die man damals Deklination nannte, während die Deklination unter dem Ausdruck Variation bekannt war. Wenn nun auch Hellmann[3]) mit Recht darauf hinweist, daß Normans 1581 in London erschienene Schrift: The newe Attractive, in der er seine Entdeckung mitteilt, das erste Druckwerk rein erdmagnetischen Inhaltes ist, so ist doch auch zu beachten, daß es nichts enthält, was früheren Forschern nicht auch

[1]) Hellmann, Neudrucke usw., Nr. 10. 5. Neudruck. Die letzte Bemerkung erklärt sich daraus, daß Hartmann auch für andere Fürstlichkeiten Instrumente verfertigt hatte.

[2]) How much the needle touched with the Stone would Decline.

[3]) Hellmann, Neudrucke usw., Nr. 10, S. 18.

schon bekannt gewesen wäre. Daß bereits vor ihm die Inklination bemerkt worden war, konnte er freilich nicht wissen, eher daß die Araber bereits seine Beobachtung der Unveränderlichkeit des Gewichtes eines Eisenkörpers bei Änderungen seines Magnetismus, vorweg genommen hatten. Auch die Art der Magnetisierung seiner Nadeln durch Berührung mit dem Magnetstein war die hergebrachte, die bereits seit langer Zeit in Deutschland geübte Magnetisierung durch Streichen, die allerdings durch den Druck noch nicht bekanntgegeben war, war ihm fremd. Aber sein Werk sowohl, wie das ihm beigefügte Werk William Boroughs, des späteren »Comptrollers of the navy« (1536 bis 1599), das den Titel Discours of the variation of the Compasse hat, enthalten zum Teil in weiterer Ausführung der bereits von Falero gegebenen die für den Seefahrer zur Benutzung der Magnetnadel wichtigen Regeln. Was Norman zur Erklärung des Magnetismus gibt, ging freilich durchaus noch nicht über die Anschauungen seiner Zeit hinaus. „Dessenungeachtet," sagt er darüber[1]), „dürfen wir deshalb nicht den vitalen oder lebendigen Geist vom Magnetstein nehmen und dem Eisen zurechnen; denn auf solche Weise würden wir der Natur schwer unrecht tun. Besitzt doch offenbar das Eisen keine ihm eigene Anziehungskraft, wenn es sie nicht vom Steine empfangen hat. Aber indem das Eisen eine gewisse Verwandtschaft oder eine dem Steine genehme Art hat, übernimmt es in passender und leichter Weise seine Kraft und als ein Wesen, welches das Eindringen des vitalen Geistes und das ruhige Verbleiben in seinem massiven und festen Körper duldet; welches, wenn es ihn durch Berührung mit dem Steine erhalten hat, in jeder Hinsicht ausgestattet ist mit genau denselben Eigenschaften und Fähigkeiten (obgleich nicht mit ebenso großer Stärke) wie der Stein selbst." Den »Point Attractive« oder »Respective«, wie er den Punkt, auf den die Nadel weist, nennt, suchte er aber weder am Himmel

[1]) The Newe Attractive Chap. I. Hellmann, Neudrucke, Nr. 10, Stück 8, S. 5. Nevertheleß, we may not thereby take away the vital or lively Spirit from the Stone, and attribute it unto the Yron; for in so doing we should do Nature great wrong. For it is apparent, that the Yron hath no Attractive Virtue nor Power of it self, until it have received it of the Stone. But Yron having a certain Affinity, or natural Quality agreeable to the Stone, doth aptly and freely receive his Virtue, and as a Subject, suffereth his vital Spirit of the Stone to impress, and rest quietly in his massive and solid Body; which when it hath received by touching the Stone it is indued with the very same Property and Operations in all respects (though not in so great Force) as the Stone it self.

noch in der Erde, sondern im Magneten selbst und machte im Sinne seiner Zeit eine ihm von Gott gegebene Kraft dafür verantwortlich. „Gott hat," sagt er[1]), „diesem Steine eine ihm eigentümliche Kraft gegeben, nach seiner Natur und seinem Verlangen auf einen bestimmten Punkt hinzuweisen und nicht einer anderen vom Himmel oder von der Erde ausgehenden Wirkung unterworfen zu sein, sondern frei seiner eigenen Kraft zu folgen, die er bei der Schöpfung aus seiner mächtigen Hand empfing: und durch dieselbe Kraft wird die Nadel um ihren eigenen Mittelpunkt gedreht, ich meine den Mittelpunkt ihres Kreises und eine unsichtbare alle Dinge durchdringende Kraft, die durch nichts aufgehalten wird, seien es Wände, Bretter, Glas oder sonstige Gegenstände." So begegnen wir auch bei Norman dem Ringen, auf Grund richtig gedeuteter Versuche und Beobachtungen mit den Anschauungen der Scholastik zu brechen, die abzuschütteln er freilich noch nicht vermag.

c) Leonardo da Vinci.

„Wenn man von den Männern, welche als Marksteine den Beginn des 16. Jahrhunderts bezeichnen, einem vor den anderen einen Vorzug einzuräumen wagen wollte, so würde der Preis wohl Leonardo da Vinci zufallen, dem erhabenen Genie, welches die Grenzen aller menschlichen Wissenschaften hinausschob. In der Kunst konnten Michel Angelo und Raffael seinen Ruhm nicht verdunkeln; seine wissenschaftlichen Entdeckungen, seine philosophischen Untersuchungen stellen ihn an die Spitze der Gelehrten seiner Zeit. Die Musik, die Kriegswissenschaft, die Mechanik, die Hydraulik, die Astronomie, die Geometrie, die Physik, die Naturwissenschaft, die Anatomie wurden durch ihn vervollkommnet. Wenn alle seine Manuskripte noch vorhanden wären, bildeten sie die originellste, die umfassendste Enzyklopädie, welche jemals ein menschlicher Geist geschaffen hat." Mit diesen Worten schildert Libri[2]) seinen großen Landsmann, der 1452 als illegitimes

[1]) Ebenda, Chap. VIII, S. 17. God hath given vertue and power to this Stone, proper in it selfe, to shewe one certaine point, by his owne nature and Appetite, and not subject to any other accident in Heaven, nor in Earth, but freely by his owne proper vertue, receyved at his mighty hands in Creation: and by the same vertue, the Needle is turned upon his owne Center. I meane the Center of his Circular and invisible vertue, piercing all thinges, and stayed by nothing, be it Wall, Boorde, Glasse or any thing whatsoever.

[2]) Libri, Histoire des Sciences mathématiques en Italie. Paris 1840, Bd. III, S. 11: »Si, à l'aspect de ces hommes placés comme des colosses à l'entrée du

Kind des Notars der Signoria zu Vinci bei Florenz Ser Piero geboren wurde, aber frühe von seinem Vater gesetzlich adoptiert zu sein scheint. Bis zu seinem 31. Jahre hielt er sich zu Florenz auf, indem er mit der Erlernung der Malerei beschäftigt war, zugleich aber auch die Musik mit solchem Erfolg trieb, daß er 1483 als erster Violinist an den Hof von Mailand berufen wurde. Hier gründete er eine Akademie der Wissenschaften, arbeitete aber zugleich den Entwurf einer Reiterstatue Franz Sforzas aus, dessen Ausführung leider die Eroberung Mailands durch die Franzosen verhinderte. Leonardo ging nun nach Florenz zurück, blieb aber nicht lange daselbst, sondern nahm in verschiedenen Orten Italiens vorübergehenden Aufenthalt. 1507 kehrte er auf die Aufforderung des nun in Mailand gebietenden Königs Ludwig XII. von Frankreich dorthin zurück, um die Schiffbarmachung des Kanals von Marlesana, die Kanalisation des Ticino und ähnliches auszuführen. Als aber dann Maximilian Sforza sich der Herrschaft über Mailand bemächtigte, wandte sich Leonardo, von einigen seiner Schüler begleitet, nach Rom, um nach der Rückeroberung Mailands durch Franz I. von Frankreich dorthin zurückzukehren. 1516 siedelte er auf die Einladung des Königs nach Amboise über und starb 1519 in St. Cloux.

Von seinen zahlreichen Schriften, die von 1482 bis 1499, während er der von ihm gegründeten Akademie vorstand, entstanden sein dürften, hat er bei Lebzeiten nichts veröffentlicht. Sie bilden den Inhalt von Heften, welche nach Cantors[1]) Annahme entweder für seine Vorträge oder als Vorarbeiten für später auszuführende Werke zusammengestellt wurden. Die letztere Annahme dürfte im Hinblick auf den Inhalt dieser Hefte, welcher sich über alle die von Libri aufgeführten Wissensgebiete erstreckt, wohl die wahrscheinlichere sein, wenn wir auch zum

XVI. Siècle on osoit témoigner une préférence, peutêtre la palme serait accordée à Léonard de Vinci, génie sublime qui grandit le cercle de toutes les connaissances humaines. Dans les arts, Michel-Ange et Raphaël ne purent éclipser sa gloire; ses découvertes scientifiques, ses recherches philosophiques le placent à la tête des savants de son epoque. La musique, la science militaire, la mécanique, l'hydraulique, l'astronomie, la géométrie, la physique, l'histoire naturelle, l'anatomie furent perfectionnées par lui. Si tous ses manuscrits existaient encore ils formeraient l'encyclopaedie, la plus originale, la plus vaste, qu'ait jamais créée une intelligence humaine.«

[1]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. 2. Aufl. Bd. II. Leipzig 1899, S. 295.

Druck fertige oder gedruckte Werke von Leonardos Hand nicht besitzen. Bei seinen vielfachen Beschäftigungen kam er nicht dazu, sie auszuarbeiten, in seinem Testament aber vermachte er sie seinem Schüler und Freund Francisco Melzi, der sie bis zu seinem 1570 erfolgten Tode sorgfältig bewahrte. Seine Erben aber ließen es zu, daß Lelio Gavardi da Asola, der Hauslehrer in ihrer Familie gewesen war, 13 Bände davon entnahm, um sie dem Großherzog Franz von Toscana, der als eifriger Sammler von Kunstgegenständen bekannt war, anzubieten. Da aber Franz starb, ehe ihm das Angebot hatte gemacht werden können, so machte Gavardi ein solches einem seiner Verwandten, Aldo Manuzio, durch welchen wiederum Ambrosio Mazzenta Kenntnis von ihnen erhielt. Da Gavardi sich nicht als rechtmäßiger Besitzer der Manuskripte ansehen zu dürfen glaubte, so wollte Mazzenta die Rückgabe an Melzi vermitteln. Dieser aber erklärte, daß er nicht nur auf die bereits abgegebenen, sondern auch auf die noch in seinem Besitze befindlichen keinen Wert legte, und bewies diese Geringschätzung dadurch, daß er verschiedene Personen mit den kostbaren Heften beschenkte. Bei dieser Gelegenheit kamen einige von ihnen in den Besitz des Bildhauers Pompeo Leoni, der im Dienste des Königs Philipps II. von Spanien war und Kunstgegenstände sammelte. Er suchte auch die im Besitz Mazzentas befindlichen 13 Hefte zu erhalten und bewog Melzi, diesen um deren Rückgabe anzugehen. Sieben weitere Bände kamen auf diese Weise in seine Hände, die er dem Könige Philipp zustellen zu wollen vorgab, sie aber für sich behielt und später noch drei der noch übrigen ihnen zufügte. Wie wenig Verständnis er aber für diesen kostbaren Besitz hatte, bewies er dadurch, daß er die Blätter auseinander nahm und, ohne auf ihren Zusammenhang zu achten, in einen großen Band nach Art eines Atlas zusammenfügte. In dieser Form ist die Sammlung unter dem Namen des »Codice atlantico« bekannt. Leoni nahm sie zwar, als er sich in der Zwischenzeit vorübergehend nach Spanien begeben mußte, mit, brachte sie aber bei seiner Rückkehr wieder nach Mailand. Nach seinem Tode kaufte sie der Graf Galeazzo Arconnati, der sie der ambrosianischen Bibliothek vermachte. Mit Ausnahme eines einzigen Heftes, das an den König von England verkauft worden war, gelang es der genannten Bibliothek, auch die übrigen zusammenzubringen. Als dann 1800 die Franzosen Mailand erobert hatten, wurden Leonardos Manuskripte nach Paris

gebracht; der Codice atlantico kam in die dortige Nationalbibliothek, die übrigen wurden dem Institut de France übergeben. Nach Zusammenbruch des ersten Kaiserreichs im Jahre 1815 sollten sie in das damals österreichische Mailand zurückgebracht werden, der damalige Bevollmächtigte erhielt in der Tat den Codice, von den übrigen Manuskripten aber hatte er keine Kenntnis, und so sind diese in Paris geblieben. Sie wurden 1881 bis 1891 in 6 Bänden von Ch. Ravaisson-Mollieu herausgegeben, während auf Anregung der italienischen Regierung mit Unterstützung des Königs von Italien 1894 die Accademia dei Lyncei in Rom die Herausgabe des Codice begonnen hat[1]).

Eine so große Zahl trefflicher Arbeiten zu hinterlassen, konnte Leonardo nur mit Hilfe seiner ausgezeichneten Methode. „Zuerst," schildert er sie, „stelle ich bei der Behandlung naturwissenschaftlicher Probleme einige Versuche an, weil es meine Absicht ist, die Aufgabe nach der Erfahrung zu stellen und dann zu beweisen, weshalb die Körper gezwungen sind, in der angegebenen Weise zu wirken. Dies ist die Methode, die man bei allen Untersuchungen beachten muß. Es ist wahr, daß die Natur gleichsam mit dem Raisonnement beginnt und durch die Erfahrung endigt, aber gleichviel, wir müssen den entgegengesetzten Weg einschlagen, wir müssen, wie ich schon sagte, mit der Erfahrung beginnen, und mit ihren Mitteln nach der Erkennung der Wahrheit trachten[2])".

Diese bewußte Betonung der Erfahrung und ihre erfolgreiche Verwendung hebt Leonardo weit über seine Zeit; aber auch darin war er den Mitlebenden überlegen, daß er, wie vor ihm bereits Roger Baco, der Mathematik eine bestimmende Rolle für die Verwertbarkeit erhaltener Versuchsergebnisse zuschreibt. „Allein, wo Mathematik anwendbar ist, herrscht Gewißheit und nur soweit sie sich anwenden läßt, steht das Wissen unbedingt fest[3])." Trotzdem war er kein großer Mathematiker. Hauptsächlich hat er sich mit geometrischen Problemen beschäftigt,

---

[1]) Vgl. Heller, Geschichte der Physik. Bd. I. Stuttgart 1882, S. 233 ff. — Duhem, Les origines de la Statique. Bd. I. Paris 1905, S. 13. — Th. Beck, Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaus. Berlin 1905. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1906, Bd. 50, S. 524.

[2]) Venturi, Essai sur les ouvrages de Léonard de Vinci. Paris 1797, S. 4.

[3]) Vgl. E. v. Lippmann, Lionardo da Vinci als Gelehrter und Techniker. Zeitschrift für Naturwissenschaften 1899, Bd. 72, S. 291. Abhandlungen und Vorträge 1906, S. 352.

so unter anderen mit der Konstruktion regelmäßiger Vielecke unter Anwendung einer einzigen Zirkelöffnung, eine damals in Italien beliebte Methode, wo sie Albrecht Dürer, der sie ebenfalls anwandte, kennen gelernt haben mag. Manches, z. B. die Einführung der + und —Zeichen wird ihm mit Unrecht zugeeignet, dagegen beschäftigte er sich mit gutem Erfolg mit Schwerpunktsbestimmungen, erfand auch einen Proportional- und einen Ellipsenzirkel. Nicht besonders war er im Rechnen bewandert, mußte ihm doch die Gewichtsmenge Erz, welche zur Herstellung eines Reiterstandbildes notwendig war, sein Freund Paciuolo berechnen[1]). Mehr Freude machte ihm die Mechanik, und in dieser hat er wesentlich Neues und durchaus Eigenartiges geleistet. „Die Mechanik," ließ er sich vernehmen, „ist das Paradies der mathematischen Wissenschaften, weil man mit ihr zur Frucht mathematischen Wissens gelangt[2])."

Leonardo ging von aristotelischen Ideen aus, welche freilich durch die Arbeiten der Forscher des Mittelalters nicht unwesentlich abgeändert waren. Für diese Abänderungen möchte Duhem einen noch unbekannten Gelehrten des Mittelalters verantwortlich machen, den er den Vorgänger des großen Künstlers nennt. Bei dem Suchen nach einem solchen stößt er auf eine Anzahl von Verfassern verschiedener Werke, deren Einfluß auf die Arbeiten Leonardos nachweisbar ist, und so wird wahrscheinlich dieser Vorgänger in einer bestimmten Person sich schwerlich ausfindig machen lassen. Vor allen werden die Arbeiten des Nemorarius hier heranzuziehen sein, vielleicht auch die des 1416 gestorbenen Biagio Pelecani, der freilich in seinem unter dem Namen Blasius de Parma veröffentlichten Tractatus de Ponderibus Neues kaum geleistet hat[3]). Neuerdings hat dann Duhem auf Albertus Saxonicus (Albert von Helmstädt) hingewiesen, der von 1351 bis 1361 an der Pariser Universität lebte und identisch ist mit Albertutius, aber nicht mit Albert von Riemerstorp (Riggensdorf) verwechselt werden darf[4]). Die Quaestiones

[1]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. 2. Aufl. Bd. II. Leipzig 1899, S. 307.

[2]) Ravaisson-Mollien, M.S.E de la Bibliotheque de l'Institut. fol. 8 v.⁰. Paris 1880. Vgl. Duhem, Les origines de la Statique. Paris 1905. Bd. I, S. 15.

[3]) Duhem, Les origines de la Statique. T. I, S. 147.

[4]) Duhem, Sur quelques découvertes scientifiques de Léonard de Vinci. Comptes rendus 1906. Bd. 143, S. 809 u. 946. Vgl. auch Comptes rendus 1905. Bd. 141, S. 525.

subtilissimae in libros de Coelo et Mundo, die 1481 in Pavia erschienen, 1492, 1497 und 1520 in Venedig neu aufgelegt wurden und die Lehre vom freien Fall behandeln, hat Leonardo zitiert, indem er sich ihnen anschließt. Sie wurden außerdem von Pierre Tataret in ein Handbuch wörtlich aufgenommen unter dem Titel Commentationes in libros Aristotelis secundum Subtilissimi Doctoris Scoti sententiam, welches um 1500 in größtem Ansehen stand und in vielen Auflagen verbreitet war[1]).

Leonardo erkannte, daß Bewegungen nur durch Kräfte hervorgerufen werden können, da kein sinnlich wahrnehmbarer Körper sich von selbst zu bewegen imstande sei, sondern durch ein anderes, eben die Kraft, angetrieben werden müsse. Unter Kraft aber versteht er ein geistiges Vermögen, eine unsichtbare Macht, die vermittelst einer hinzukommenden äußeren Gewalt durch Bewegung hervorgerufen und Körpern, die sich außerhalb ihrer natürlichen Gewohnheit befinden, mitgeteilt und eingeflößt wird. So stimmt seine forza infusa mit der eingeprägten Kraft, der vis impressa des Aristoteles überein, die ihm wohl durch Nemorarius übermittelt wurde[2]). Eine Kraft treibt nun den halben Körper in der doppelten Zeit über den nämlichen Weg, ihre Hälfte in der halben Zeit oder in der nämlichen Zeit über den halben Weg und ihr hundertfacher in der nämlichen Zeit über den hundertsten Teil des Weges. Zwei gesonderte Kräfte aber wirken auf zwei gesonderte Körper, wie beide vereint auf den vereinten Körper[3]), ein und dieselbe Kraft wirkt dagegen mit um so größerer Stärke, je kleiner der Raum ist, durch welchen sie sich betätigt, ein Satz, der nicht nur für Kräfte, sondern auch für Wärme, für den Stoß, das Gewicht usw. als zu Recht bestehend angesehen wird[4]). Anderseits erfahren die Sätze aber auch wieder Einschränkungen, damit sie der Beobachtung, daß eine sehr kleine Kraft einem sehr großen Körper auch nicht die kleinste Bewegung mitteilt, gerecht werden können[5]). Beweisen nun diese

[1]) Duhem, Sur la découverte de la loi de la chute des graves. Comptes rendus 1908. Bd. 146, S. 908.

[2]) Ravaisson-Mollien, MS. A fol. 60 r°. nach der Übersetzung von Wohlwill, Bibliotheca mathematica 1888. Neue Folge 2. S. 22.

[3]) Ravaisson-Mollien, M. S. F. fol. 26 r°. — Duhem, Les Origines de la Statique. S. 16.

[4]) Ravaisson-Mollien, M. S. G. fol. 89 v°. — Duhem a. a. O. S. 42.

[5]) Duhem a. a. O., S. 18.

Darlegungen, daß der große Florentiner einen klaren Begriff von der Arbeit hatte, so ergibt die folgende, von ihm aufgezeichnete Bemerkung, daß ihm auch der Begriff der Energie der Lage keineswegs fremd war: „Wenn du Wasser dem Gewichte nach kaufst, so kannst du dich sehr täuschen. Denn in der Tat, wenn du ein bestimmtes Gewicht totes Wasser und ein bestimmtes Gewicht fließendes Wasser hast, so kannst du mit dem letzteren Arbeit leisten." Für jede Leistung aber muß Arbeit aufgewendet werden und daraus folgt, daß es unmöglich ist, ein Perpetuum mobile herzustellen. Denn „immer ist das Bewegende stärker als das Bewegliche[1]". Völlig klar freilich scheint Leonardo in dieser Frage noch nicht gewesen zu sein, sonst hätte er nicht Maschinen entworfen, deren Zweck er in der Ausführung einer immerwährenden Bewegung sah[2]).

Seine Ansicht über den freien Fall hat er von Albert von Helmstädt entnommen[3]). Daß die Fallbewegung eine beschleunigte sei, erkannte er, nahm jedoch an, daß die in aufeinander folgenden gleichen Zeiten zurückgelegten Fallräume nach arithmetischer Progression wüchsen, schloß sich dabei aber noch der Ansicht der Peripatetiker an, wonach der schwerere Körper bei gleicher Form und gleichem Inhalte im lufterfüllten Raume rascher falle, als der leichtere, sowie daß ein solcher von größerem Durchmesser um soviel rascher falle als ein kleinerer, als er diesen an Größe übertrifft. Diese Annahmen suchte er durch Versuche zu prüfen, die freilich nicht dazu angetan waren, das Unzutreffende in denselben hervortreten zu lassen[4]). Er ließ Holzklötze von einem Turme herabfallen und bestimmte die Stellen, an denen sie zu gewissen Zeiten vorbeigingen. Diese Versuche erregten die größte Aufmerksamkeit und zogen eine große Zahl von Zuschauern herbei, und so ist es nicht unwahrscheinlich, daß sie für später zu demselben Zweck angestellte mitbestimmend gewesen sind. Als er dann die Versuche mit Bleistücken wiederholte, bemerkte er, daß sie östlich von dem Fuße des Turmes in größerem Abstand von ihm zur Erde gelangten, als sie fallen gelassen waren und zog daraus den Schluß, daß sich die

---

[1]) Ravaisson-Mollien, M. S. G. fol. 20 r⁰. — Duhem a. a. O., S. 55.

[2]) Th. Beck, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1906, Bd. 50, S. 783.

[3]) Duhem, Sur la découverte de la loi de la chute des graves. Comptes rendus 1908. T. 146, S. 908.

[4]) Vgl. Th. Beck, Leonardo da Vincis Ansicht vom freien Falle schwerer Körper. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1907. Bd. 51, S. 1386.

Erde um ihre Achse drehen müsse[1]). Auch hat er bereits beobachtet, daß ein Körper einen Kreisbogen rascher durchfällt als die zu ihm gehörige Sehne.

Wenn wir nun in Leonardos Trattato di pittura lesen: „Naturgemäß verlangt ein jedes Ding sich in seinem Zustand zu erhalten[2])" oder wenn er bei Gelegenheit der Betrachtung der Wirbelbewegung bemerkt: „Ganz allgemein verlangen alle Dinge sich in ihrer Natur zu erhalten[3])," wenn er weiter ausführt, daß ein zum gemeinsamen Zentrum fallender Körper nicht dort bleiben, sondern ebensoweit sich darüber hinaus bewegen würde, dann zurückkehren und erst nach vielen Hin- und Hergängen zur Ruhe komme, wie ein an einer Schnur aufgehängtes und aus seiner Ruhelage gebrachtes Gewicht lange Zeit hindurch hin und her geht, bis es endlich unter der Schnur, die es hält, zur Ruhe kommt[4]), wenn er den Hohlraum im Innern eines Wasserwirbels dadurch erklärt, daß das dessen Wände bildende Wasser sich so lange behauptet, „als es die Rotationsbewegung beibehält, die man ihm mitgeteilt hat, während dieser ganzen Zeit aber schwer ist nach der Richtung seiner Bewegung[5])," wenn er endlich das Experiment macht, aus einer Reihe aufeinander gelegter Brettspielsteine durch einen raschen und starken Schlag einen einzelnen herauszuwerfen, ohne daß der Bestand der Säule gefährdet wird, so wird es uns schwer, Leonardo nicht den vollen Besitz des Beharrungsprinzips zuzusprechen. Daß er aber die allgemeine Folgerung aus diesem Prinzip, nämlich die unzerstörbare Erhaltung jeden Geschwindigkeitsgrades noch nicht gezogen hat, ergibt der folgende von ihm ausgesprochene Satz: „Jede Bewegung, die durch Kraft hervorgerufen ist, muß einen Lauf vollenden je nach dem Verhältnis zwischen dem bewegten und bewegenden Gegenstande. Und wenn er Widerstand findet, wird er die Länge des ihm zukommenden Weges durch Kreisbewegung oder auch durch mannigfaltiges Springen oder Hüpfen in solcher Weise zurücklegen, daß, wenn man Zeit und Weg berechnet, es ebenso ist, als wenn der Lauf ohne irgendwelchen Widerstand gewesen

---

[1]) Caverni, Storia del metodo sperimentale in Italia. T. IV, S. 77.

[2]) Naturalmente ogni cosa desidera mantenersi in suo essere.

[3]) Universalemente tutte le cose desiderano mantenersi in sua natura.

[4]) Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes. Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft 1884, S. 382.

[5]) Ebenda, S. 383.

wäre[1])." Wenn also auch keine Widerstände die Bewegung hemmen, so dauert sie doch nur so lange bis der Weg zurückgelegt ist, den das obige Verhältnis bestimmt, und so ist Leonardo in der Aufstellungdes Beharrungsvermögens doch nicht viel über Nikolaus von Cusa herausgekommen.

Den Satz vom Gleichgewicht der Kräfte am Hebel leitete Leonardo aus dem Begriff des statischen Momentes ab, wenn er auch noch nicht diese Bezeichnung, sondern an ihrer Stelle die der gravitas secundum situs benutzt. Er gelangt dazu, indem er das am Hebel wirkende Gewicht als durch einen horizontalen, die Drehung aufhebenden Zug im Gleichgewicht erhalten betrachtet und nennt dann diesen den potentiellen im Gegensatz zu dem wirklichen, dem reellen Hebel. Als spezielle Fälle des Hebels sieht er die Rolle und das Rad an der Welle an. Mit Hilfe des Hebels gibt er dann eine Lösung des Problems der schiefen Ebene, die weniger zu Einwänden berechtigt als die, welche Nemorarius gegeben hatte. Beide dachten sich zwei schiefe Ebenen mit den gleichen Höhen aneinander gelegt und nehmen an, daß auf ihnen zwei gleich schwere Körper, welche durch eine über eine Rolle gehende Schnur gehalten wurden, sich in entgegengesetzter Richtung zu bewegen strebten. Sind die Neigungen beider Ebenen gleich, so findet nach Jordanus Gleichgewicht statt; ist das nicht der Fall, so wird der auf der stärker geneigten Ebene ruhende Körper den anderen nach sich ziehen, da er als der der senkrechten Grenzfläche beider nähere sich als schwerer erweisen wird als der von ihr entferntere. Leonardo dagegen hält für die Bewahrung des Gleichgewichtes es für ausreichend, daß die von den Körpern in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege, die unter der Annahme des Hebels als Kreisbögen aufzufassen sein werden, „gleich und ähnlich sind, daß die Mittelpunkte der sich bewegenden Gewichte immer gleich weit vom Mittelpunkt der Wage entfernt seien, und daß die Mittelpunkte der Körper immer den gleichen Abstand von dem genannten Mittelpunkte haben[2])". So wendet Leonardo mit Erfolg die Methode der virtuellen Geschwindigkeiten an, welche Nemorarius zwar vorbereitet hatte, aber mit Erfolg noch nicht anzuwenden wußte.

---

[1]) Ravaisson-Mollien, Le Manuscrit A. fol. 60 v°. Die Übersetzung nach Wohlwill, Hat Leonardo da Vinci das Brechungsgesetz gekannt? Bibliotheca mathematica 1888. Neue Folge, Bd. 2, S. 19.

[2]) Ravaisson-Mollien, M. S. G. fol. 7 r°. — Duhem, Les origines de la Statique. S. 167.

Die so erhaltenen theoretischen Ergebnisse suchte Leonardo dann auch für die Konstruktion von Maschinen nutzbar zu machen. Deren hat er eine überreiche Zahl entworfen, ausgeführt worden dürften davon nur wenige sein. Die im Codice Atlantico mitgeteilten Entwürfe enthalten eine Fülle von Ideen, von denen viele erst in viel späterer Zeit zur Ausführung kamen. Aber es sind meist nur Figuren ohne Beschreibung, über welche wir verfügen, und so besteht die Gefahr, daß wir manche davon nach unseren Anschauungen deuten und Leonardo Gedanken zuschreiben, wie er sie schwerlich schon gehabt hat. Immerhin ist der Reichtum der mannigfaltigen Entwürfe, die er in vortrefflichen Zeichnungen niederlegte, nicht genug zu bewundern. Da sehen wir[1]) ein Schiff mit Ruderrädern, Wasserräder mit senkrechter und wagerechter Achse, mit geraden und gekrümmten Schaufeln, als ob er bereits die schädliche Wirkung des Stoßes des eintretenden Wassers bedacht hätte, Apparate, die die Fortpflanzung des Druckes durch Wasser unter Anwendung verschieden großer Druckflächen zu benutzen, also Vorläufer der hydraulischen Presse zu sein scheinen. Ferner eine Dampfkanone, deren Wirkung auf der Spannkraft des plötzlich entwickelten Wasserdampfes zum Fortschleudern der Geschosse beruht, Flugmaschinen der verschiedensten Bauart, Schleifvorrichtungen für Hohl- und ebene Spiegel, Maschinen zum Gebrauch in den verschiedensten Gewerben, Hebezeuge, Rammbären, einen Fallschirm, eine Taucherkleidung, einen Proportionalzirkel mit beweglichem Kopf, dessen Erfindung man bisher, wie wir bereits erwähnten, dem Uhrmacher des Landgrafen Wilhelm IV. von Hessen-Kassel, Jost Burgi zuzuschreiben pflegte. Auch die nach Cardanus genannte Aufhängung eines Körpers, der sich um drei zueinander senkrechten Achsen drehen können soll, bildet er ab. Indessen rührt diese nicht von Leonardo her, vielmehr hat Berthelot bereits in einer Handschrift des 12. Jahrhunderts ihre Beschreibung gefunden[2]).

Derartige Entwürfe finden wir auch bei anderen Schriftstellern, die nach Leonardo lebten. Wie aber ihre Abbildungen entfernt nicht die Richtigkeit und Schönheit erreichen, die denen des großen Malers eigen sind, so bleiben sie auch an Gründlichkeit so sehr hinter ihnen zurück,

---

[1]) Vgl. Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 106 und Th. Beck, Leonardo da Vinci, Zivilingenieur 1888. Neue Folge, Bd. 34, S. 25 ff., 188 ff.

[2]) Berthelot, Comptes rendus 1890. Bd. 111, S. 940.

daß die durch sie dargestellten Maschinen mehr oder weniger den Eindruck von Spielereien machen. Leonardo berücksichtigt dagegen auch die Bedingungen, denen die Teile seiner Maschinen zu genügen haben und unterwirft sie einer genauen Untersuchung. So hat er sich eingehend mit der rückwirkenden und relativen Festigkeit ihrer Stützen und Balken beschäftigt, auch deren Biegungen bestimmt. Nicht weniger eingehend behandelt er die Reibungswiderstände; er unterschied bereits zwischen gleitender und rollender Reibung, zwischen der Reibung von festen Körpern an festen Körpern und an Flüssigkeiten, sowie der Reibung zweier Flüssigkeiten aneinander. Er kannte die bei der Bewegung von Zahnrädern auftretenden Reibungswiderstände, hatte beobachtet, daß die Größe der Reibung von der Beschaffenheit der reibenden Flächen abhängt, daß sie um so stärker wird, je weniger geneigt die Unterlage ist. Anderseits aber war es ihm nicht entgangen, daß der Widerstand mit dem Drucke sich ändert. „Die Reibung eines Körpers mit verschiedenen Seitenflächen," sagt er in dieser Hinsicht[1]), „verursacht immer den gleichen Widerstand, mag sie auf irgend einer Fläche erfolgen, welche man will, wenn man ihn nur nicht oberhalb der Ebene anstößt, auf der er sich reibt." Aus seinen Versuchen leitete er ab, daß jeder Körper auf der Unterlage, an der er sich reibt, mit dem vierten Teil seines Gewichtes widersteht.

Duhem faßt die Leistungen Leonardos auf mechanischem Gebiete folgendermaßen zusammen[2]): „In der Mechanik Leo-

---

[1]) Codice Atlantico. Bl. 209 v°. nach der Übersetzung Th. Becks in Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1906, Bd. 50, S. 524.

[2]) Duhem, Les Origines de la Statique. T. I. Paris 1905, S. 192. Il n'est, dans l'oeuvre mēchanique de Léonard de Vinci, aucune idée essentielle qui ne soit issue des écrits des géomètres du moyen âge et, particulièrement du traité de ce grand mécanicien que nous avons nommé le Précurseur de Léonard. Notion de moment d'une force, distinction entre les états d'équilibre stable et les états d'équilibre instable d'une balance, détermination de la composante d'une force suivant une direction donnée, évaluation de la puissance motrice comme produit du poids soulevé par la hauteur à laquelle on l'élève, théorie du plan incliné, toutes ces idées avaient été vues ou entrevues dès le XIIIe siècle. Il en est qui se réduisaient à un germe minuscule à une simple ébauche et qui, dans les notes jetées sur le papier par Léonard, ont acquis un développement d'une merveilleuse ampleur. D'autres, au contraire, avaient dès le moyen âge, atteint leur perfection, que le grand peintre a en parties méconnues; telle la theorie du plan incliné. Grâce aux reflexions de Léonard de Vinci, ajoutées aux oeuvres de l'Ecole de Jordanus, il n'est guère, en Statique, d'idée essentielle qui n'ait été clairement aperçue et formulée au moment où s'ouvre le XVIe siècle.

nardos da Vinci kommt kein wesentlicher Gedanke vor, der nicht seinen Ausgangspunkt in den Schriften der Geometer des Mittelalters hätte, besonders in dem Werke des großen Mechanikers, den wir den Vorläufer Leonardos nannten. Kenntnis des Momentes einer Kraft, Unterscheidung zwischen dem stabilen und unstabilen Gleichgewicht einer Wage, Bestimmung der nach einer gegebenen Richtung wirkenden Komponente einer Kraft, Schätzung der bewegenden Kraft als Produkt aus dem gehobenen Gewicht in die Höhe, zu der es erhoben wurde, Theorie der schiefen Ebene, alle diese Ideen waren seit dem 13. Jahrhundert erkannt oder geahnt. Darunter sind solche, welche sich auf einen unbedeutenden Keim, eine erste Anlage beschränken, und welche in den von Leonardo zu Papier gebrachten Notizen eine wunderbar ausgebreitete Entwicklung erlangt haben. Andere dagegen hatten seit dem Mittelalter ihre Vollendung erreicht, waren aber dem großen Maler unbekannt geblieben, darunter die Theorie der schiefen Ebene. Dank der Überlegungen Leonardos da Vinci, die den Werken der Schule des Jordanus zugefügt wurden, gibt es auf statischem Gebiet keinen wichtigen Gedanken, welcher nicht bei Beginn des 16. Jahrhunderts klar gefaßt und ausgebildet worden wäre."

Seine Beschäftigung mit der Wirkung des Stoßes führte Leonardo auf die Betrachtung der Wasserwellen. „Die Welle ist der Eindruck des Stoßes, welcher vom Wasser reflektiert wird; sein Angriff ist viel schneller als das Wasser. Daher flieht oftmals die Welle den Ort ihrer Entstehung, und das Wasser selbst bewegt sich nicht vom Platze." Die Fortpflanzung der Wellen aber erfolgt nach bestimmten mathematischen Gesetzen, und es ist seiner Beobachtung nicht entgangen, daß an den Kreuzungsstellen der Kreise höhere Wellenberge und tiefere Wellentäler entstehen, wie er denn auch über die Reflexion der Wellen sich wohl unterrichtet zeigt. Ebenso waren ihm die Erscheinungen bei Flüssigkeiten wohl bekannt, so das Gesetz kommunizierender Röhren, auch wenn in beiden Schenkeln verschiedene Flüssigkeiten vorhanden sind; den Heber sucht er zu allen möglichen Zwecken zu benutzen, eine Art von Zentralpumpe, die freilich von der gegenwärtig benutzten gänzlich verschieden ist, suchte er herzustellen, die saugende Kraft des Pumprohres aber suchte er zu vermehren, indem er an seinem Ausgange auf mechanischem Wege einen Wirbel zu erzeugen gedachte. Über seine Kenntnisse der Fortpflanzung des Druckes wurde bereits berichtet.

Einen luftleeren Raum hielt er für möglich, ja er dachte daran, daß auf einem solchen das Aufsteigen des Wassers in den Pumprohren beruhe. Die geringere Dichtigkeit der warmen Luft wollte er benutzen, um kleine mit Wachs gedichtete Ballons zum Aufsteigen zu bringen. Als er dann auf die Schalen einer Wage gleiche Gewichte von verschiedenem Rauminhalte legte, beobachtete er, daß der Wagebalken im Lauf der Zeit nicht seine Stellung beibehielt. Da solche Änderungen stärker waren, wenn sich das Wetter änderte, so schrieb er einer Verdichtung der Luft die Ursache davon zu. Das führte ihn auf die Herstellung eines Hygrometers[1]). An beide Enden eines gleicharmigen vor einem geteilten Kreis drehbaren zweiarmigen Hebels befestigte er zwei gleich schwere Kugeln, und umgab die eine mit Wachs, die andere mit Baumwolle. Da zunehmende Feuchtigkeit der Luft die letztere sinken ließ, so brachte ihn dies auf den Gedanken, daß das Wachs die Feuchtigkeit abstoße, die Baumwolle sie dagegen anziehe.

Weiter war er überzeugt, daß die Luft aus zwei Bestandteilen zusammengesetzt sei, von denen nur der eine in ihr brennendes Feuer nährt. Kann sie dies nicht mehr, so kann auch kein Tier mehr in ihr leben. Auch mit der Darstellung des Schießpulvers war er vertraut und verfertigte sich seine Farbstoffe und Firnisse selbst. Der Alchemie war er abgeneigt und glaubte nicht an die Möglichkeit, auf alchemistischem Wege Gold darstellen zu können.

Auch seine Ansichten über den Schall haben uns seine Schriften aufbewahrt. Er hielt ihn für eine Wellenbewegung der Luft und war überzeugt, daß er sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit fortbewege, die Erscheinung des Echos brachte er damit in Zusammenhang. Auch die Resonanz war ihm bekannt, und er beobachtete diejenige einer Saite einer Laute, neben welcher eine ihr gleichgestimmte zum Tönen gebracht wurde, indem er ein Strohhälmchen auf sie hing und sah, wie es abgeworfen wurde. Das Sehen erklärte er aus dem Bilde, welches durch eine enge Öffnung in eine dunkle Kammer dringendes Licht auf einem in dieser befindlichen Schirme entwirft. Die Camera obscura, wenn auch ohne Linse, dürfte er aber schwerlich erfunden haben, sie war bereits viel früher bekannt. Findet sich doch eine eingehende Beschreibung von einer solchen Einrichtung ohne Linse in dem 1321 von Levi ben Gerson in hebräischer Sprache verfaßtem

---

[1]) Venturi, Essai sur les Ouvrages de Léonard de Vinci. Paris 1797, S. 28.

Werke, welches 1342 Petrus de Alexandria ins Lateinische unter dem Titel: De sinibus, chordis et arcubus, item Instrumento Relevatore secretorum übersetzt wurde und in dem auch die Anwendung der Dunkelkammer zur Beobachtung der Mond- und Sonnenfinsternisse besprochen wird[1]). Dagegen ist er wohl der erste gewesen, der das aschgraue Licht des verdunkelten Mondes für Sonnenlicht erklärte, welches von der Erde reflektiert sei. Die blaue Farbe des Himmels erklärte er, wie später Goethe, für eine subjektive Erscheinung; hell vor dunkel sollte die Empfindung des Blau im Auge hervorrufen[2]). Bei der Wärme unterschied er die strahlende, die reflektiert und gebrochen werden könne, von der gewöhnlichen, aber er glaubt auch aus seinen Versuchen mit zwei gleich schweren an einem Wagebalken aufgehängten Kugeln schließen zu müssen, daß ein Körper leichter sei, wenn er sich im erhitzten Zustande befinde, als wenn er eine tiefere Temperatur habe.

Die Manuskripte Leonardos sind sämtlich in Spiegelschrift geschrieben, da er, wie auch Holbein und Michel Angelo, bestrebt war, beide Hände gleichmäßig auszubilden[3]). Das hat ihre Entzifferung sehr mühsam gemacht, und da sie, wie erwähnt, erst im vorigen Jahrhundert veröffentlicht worden sind, so hat man lange geglaubt, daß sie für die Geschichte der Naturwissenschaft ganz bedeutungslos gewesen seien, eine Ansicht, der auch ich mich in früheren Arbeiten angeschlossen hatte. Diese Ansicht hat man fallen lassen müssen, seit es wahrscheinlich geworden ist, daß des großen Malers Schriften durchaus nicht unbekannt geblieben sind, daß Cardanus, Tartaglia und dann wohl auch Galilei, um nur diese zu erwähnen, so wenig achtlos an ihnen vorübergingen, daß sich vielmehr die Spuren seines Geistes in deren Schriften deutlich verfolgen lassen, wenn sie ihren Urheber auch nicht nennen[4]). Gewöhnlich schließen künstlerische Phantasie und nüchterne naturwissenschaftliche Forschung

---

[1]) M. Curtze, Die Dunkelkammer. Himmel und Erde. 1901. Bd. 13, S. 225.

[2]) Vgl. Pernter, Die blaue Farbe des Himmels. Vortrag im Verein zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse. Wien 1890.

[3]) E. Weber, Ursachen und Folgen der Rechtshändigkeit. Halle a. S. 1905, S. 110.

[4]) Vgl. Duhem, Les origines de la Statique. Bd. I. Paris 1905, S. 156 ff., 242 ff.; auch Wohlwill, Ein Vorgänger Galileis im 6. Jahrhundert. Physikalische Zeitschrift 1906, 7. Jahrg., S. 23 ff.

einander aus. In Leonardo finden wir beide in wunderbarer Weise vereinigt, und wir sehen sie ihn zu den großartigsten Schöpfungen, zu wissenschaftlichen Arbeiten, die eine unübersehbare Menge der trefflichsten Gedanken enthalten, anregen. Aber in dieser allseitigen Begabung lag auch eine große Gefahr, und diese hat er nicht vermieden. Hat er auch vollendete Werke der Kunst, allerdings in viel geringerer Zahl als die Zeitgenossen Raffael, Michel Angelo und so viele andere hinterlassen, so sind die Ergebnisse seiner übrigen Arbeiten doch nur in so skizzenhafter Weise auf die Nachwelt gekommen, daß es, wie wir sahen, schwer ist, sie ihrem wahren Werte nach zu würdigen. Es wäre traurig, wenn ein solches fast unbegrenztes Können, eine solche beispiellose Beobachtungsgabe ohne Einfluß auf die Entwicklung der Menschheit geblieben wäre, und es gereicht dem Geschichtschreiber zur Genugtuung, berichten zu können, daß die Spur von seinen Erdentagen lebendig fortwirkte, nachdem er längst aus dem Leben abgeschieden war.

d) Die mechanische Kunst. Kopernikus und Tycho Brahe.

Die Kompaßmacher hatten den Ruhm der alten Reichsstadt Nürnberg in dem gebildeten Teile Europas verbreitet, aber sie waren nicht die einzige Zunft, die ihn geschaffen hatte und erhielt. Da waren die Orgelbauer und die Lautenmacher, die Glasmaler, die Diamant- und Gemmenschneider, die das Vorzüglichste leisteten, die Goldschmiede, die Gewichte und Probierwagen herstellten und das Nürnberger Gewicht auch außerhalb Nürnbergs zu allgemeinerer Geltung brachten. Neben Nürnberg war Augsburg eine mit großem Erfolg gewerbetreibende Stadt, von anderen in Deutschland abgesehen. Aber auch in Italien und später in den Niederlanden bildete sich ein handwerksmäßiger Betrieb für die Herstellung physikalischer Geräte, wie sie im gewöhnlichen Leben gebraucht wurden, aus. Dazu gehörten in erster Linie die Brillen, deren Form der gegenwärtig üblichen bereits ähnlich geworden war. Die Befestigung an der Kappe hatte man längst aufgegeben und faßte die Gläser in Gestelle aus Horn. So fügt auch Leonardo da Vinci dem von ihm vorgeschlagenen Taucheranzug eine Brille zu, doch läßt sich aus der rohen Skizze, die er hinterlassen hat, nicht entscheiden, wie er die Gläser fassen wollte[1]). Daß man solche als Kneifer auf die Nase

---

[1]) Codice Atlantico. Fol. 7 vorn. — Beck, Zivilingenieur, Bd. 52, Heft 5, 1896, Taf. XIII, Fig. 147.

klemmte, beweist ein das Laboratorium eines Alchemisten darstellender Holzschnitt von Hans Burgkmair (1472 bis 1559)[1]), auch bediente sich Luther in höherem Alter einer Brille. Sein Gegner Papst Leo X. (1513 bis 1521) aber, der wie alle Mediceer kurzsichtig war, bediente sich als Augenglas eines geschliffenen Edelsteines, den er vor das Auge hielt, wenn er etwas genau sehen wollte, und mit ihm hat ihn auch Raffael auf dem Gemälde im Palast Pitti abgebildet[2]), aber auch Lesegläser, große bikonvexe Linsen, benutzte man, wie denn Vasco da Gama mit einem solchen, das offenbar in Horn gefaßt ist, auf einem alten Bilde in der Academia das Belles Artes in Lissabon dargestellt worden ist[3]). Die Geschicklichkeit eines solchen Brillenmachers, des Hans Ehemann, schildert uns Joh. Neudörffer mit den Worten[4]): „Er hat einen solchen Verstand, wo einer übersichtig war, konnte er die Brillen dermaßen schleifen, daß sie ihme die aufsteigende Schein in die Augen herab trugen. Einen jeden Alter wußte er die Vergrößerung und Stärke des Gesichts mit der Brillen zu geben und welches mir das Wunderliche war, er namb ein ebenhoch venetische Trinkglas, thät den Boden hinweg, brennet das auf der Seiten auf und breitet es im Feuer aus wie ein eben Papier und macht christallene Brillen daraus."

Ganz besonders aber zeichnete sich in ihren Leistungen die Zunft der Uhrmacher aus[5]), die mit der der Schlosser bis zum Jahre 1565 vereinigt war. Streng hielt sie auf tüchtige Leistungen. Mußte doch der Uhrmacher als Meisterstück zwei Uhren anfertigen, eine Standuhr und eine von der Form, wie man sie am Halse zu tragen pflegte. Die Standuhr mußte Stunden und Viertelstunden schlagen, den Kalender, den Sonnenaufgang und den Mondaufgang und den Planetenlauf zeigen, und so war es denn auch in Nürnberg, wo Peter Henlein (1500 bis 1540), fälschlich Hele genannt, die Taschenuhren erfand, die unter

[1]) Wiederabgedruckt in Nürnberg, Festschrift für die 65. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte. Nürnberg 1892, S. 37.

[2]) Burckhardt, Die Kultur der Renaissance in Italien. 4. Aufl. Leipzig 1885, S. 190.

[3]) Hümmerich, Vasco da Gama. München 1898. Titelbild.

[4]) Joh. Neudörffer, Nachrichten von den Nürnberger Künstlern. Nebst der Fortsetzung von Andreas Gulden 1660. Herausgegeben von Friedrich Campe. Nürnberg 1828. S. 59.

[5]) Vgl. Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899. S. 97.

dem Namen der Nürnberger Eier so berühmt wurden. Der wichtigste Teil der Erfindung war wahrscheinlich die Anwendung einer spiralig gewundenen Feder als Triebkraft, und so hat er das Denkmal, das ihm 1906 in Nürnberg gesetzt wurde, wohl verdient. Auswüchse dieser Kunstfertigkeit waren mancherlei Automaten, die zu ihrer Zeit das größte Erstaunen hervorriefen.

So war die mechanische Kunst, wie bereits bei Besprechung der Kompaßmacher sich ergab, weit genug fortgeschritten, daß sie der Wissenschaft wohl eine Gehilfin von höchstem Werte sein konnte, und diese bedurfte ihrer in der Tat je länger je mehr. Es war nicht mehr möglich, daß sich der Forscher seine Geräte selbst baute, dazu waren sie zu kunstvoll geworden, und so fanden die Gelehrten bald die tüchtigsten Gehilfen an solchen, die aus dem Handwerkerstande hervorgegangen waren. Hatte doch bereits Regiomontan diesen Weg gewiesen, indem er selbst ihn beschritt. Nun wurde das Werk, um dessentwillen er dereinst nach Rom gezogen war, ohne es zu Ende führen zu können, die Kalenderverbesserung, durch eine von dem Papste Gregor XIII. (1572 bis 1585) eingesetzte Kommission zur Vollendung gebracht, alle vier Jahre ein Schaltjahr von 366 Tagen angeordnet, alle volle Jahrhunderte aber ein Schaltjahr ausfallen gelassen. 1582 wurde der neue Kalender in den katholischen Ländern eingeführt, indem auf den 4. Oktober sogleich der 15. folgte. Die protestantischen Länder folgten nur langsam in der Annahme der neuen Zeitrechnung nach, die griechisch-katholische Kirche hat sie sich auch jetzt noch nicht zu eigen gemacht. Für den Geschichtsforscher hat deshalb die Zeit nach 1582 bis gegen den Beginn des 17. Jahrhunderts die große Unbequemlichkeit, daß bei alten Datumsangaben sorgfältig darauf geachtet werden muß, ob sie nach dem alten oder dem neuen Stil gemacht worden sind.

Besonders gebaute Geräte waren freilich zu diesem Fortschritte von höchster Wichtigkeit nicht nötig, soviel er auch der Natur der Sache nach von sich reden machte. Im Gegensatz dazu breitete sich fußend auf den Beobachtungen, wie sie damals gemacht werden konnten, ein anderes Werk in aller Stille vor, welches je länger je mehr die Welt und ihre geistlichen Machthaber in Bewegung setzen sollte und jetzt zu unbeschränkter Anerkennung trotz allen Widerstandes der Inquisition gekommen ist, die Aufstellung des neuen Weltsystemes durch Nikolaus Kopernikus[1]).

[1]) Nach Wohlwill, Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte. 74. Versammlung zu Karlsbad. II. Teil, 2. Hälfte. Leipzig 1903, S. 130

Kopernikus ist 1473 in Thorn an der Weichsel geboren als Sohn des Großkaufmanns Nikolaus Kopernigk[1]). Er studierte zunächst von 1491 bis etwa 1495 in Krakau bei Brudzewski (1445 bis 1497) Astronomie und ging dann nach kurzem Aufenthalt in der Heimat, nachdem ihm sein Oheim mütterlicherseits, der spätere Bischof von Ermland Lukas Watzelrode 1497 ein Kanonikat bei der Domkirche in Frauenburg verschafft hatte, um kanonisches Recht zu studieren, nach Bologna. Die Tonsur und die niederen Weihen hatte er, wie es die Verleihung des Kanonikats verlangte, damals bereits erhalten, hatte auch Purbach und Regiomontan kennen gelernt, und, wie Gassendi[2]) mitteilt, sogar in Wien bei ihnen studiert. Seine astronomischen Studien setzte er in Bologna unter und mit Novara (1454 bis 1504) fort, doch haben auch Ferrara und Padua ihn zu ihren akademischen Bürgern zählen dürfen. Nachdem er 1500 in Rom gewesen und dort auch Vorträge über astronomische Gegenstände gehalten hatte, kehrte er im folgenden Jahr in die Heimat zurück, um sich einen weiteren Urlaub behufs des Studiums der Medizin zu erbitten und hat diesen wahrscheinlich in Ferrara zugebracht[3]). 1505 trat er dann sein Amt an, blieb aber zunächst bis 1512 bei seinem Oheim zu Heilsberg, um sich nach dessen Tode, freilich nur für kurze Zeit, nach Frauenburg zu begeben, denn schon 1516 wurde er zum Statthalter seines Kapitels für die Ämter Allenstein und Mehlsack erwählt und ihm dazu der Wohnsitz im Allensteiner Schloß angewiesen. Unter den schwierigen Verhältnissen, die die Kriege des deutschen Ordens mit dem Königreich Polen für ihn schufen, hat er sein Amt mit Umsicht und Festigkeit verwaltet, auch als Arzt segensvoll gewirkt. 1525 siedelte er nach Frauenburg über, wo ihn 1543 der Tod ereilte; auf seinem Sterbebette wurde ihm das erste Exemplar seines Werkes: »De Revolutionibus« vorgelegt, das seinen Namen für alle Zeiten berühmt machen sollte.

Er hatte gelegentlich seiner astronomischen Arbeiten sich des Gefühls nicht erwehren können, daß das zu seiner Zeit übliche Verfahren der Darstellung der Bewegung der Gestirne große Schwierigkeiten

---

ist die Schreibweise Copernicus die richtige, nicht Coppernicus, welche Gigalski, Nicolaus Coppernicus und Allenstein. Allenstein 1907 anwendet.

[1]) Schreibweise nach Curtze. Vgl. Wohlwill a. a. O., S. 130.

[2]) Gassendi, Vita Nicolai Copernici im Anhang zur Vita Tychonis. Hagae 1652.

[3]) Gigalski a. a. O., S. 10.

machte und namentlich sehr wenig einfach war. Der Sitte seiner Zeit gemäß suchte er deshalb darüber bei den alten Schriftstellern Belehrung und fand bei ihnen die Mitteilung, daß man auch die Umdrehung der Erde gelehrt habe. Er suchte sich nun klar zu machen, wie sich die Darstellung des Weltgebäudes gestalten würde, wenn man die Erde und die Planeten sich um die Sonne bewegend vorstellte. Da ergab sich denn, daß die beobachteten Erscheinungen, die Ptolemaios durch die recht wenig einfache Annahme der Epizyklen zu erklären versucht hatte, sich einfach und zwanglos erklären ließen, und das bewog ihn zur Aufstellung des nach ihm benannten Weltsystemes. Danach dreht die Erde sich erstens in einem Tage um ihre Achse, und da dies von West nach Ost geschieht, so ist die Drehung des Himmels von Ost nach West eine scheinbare, folgt aber aus der Annahme. Zweitens besitzt die Erde eine jährliche Bewegung in einer Kreisbahn um die Sonne, die aber nicht im Mittelpunkt der Bahn sich befindet. Diese Bewegung bewirkt, daß die Sonne am Himmel ihre Bahn im Tierkreis von West nach Ost zu beschreiben scheint. Eine dritte konische Bewegung führt die Erdachse aus um eine Senkrechte zur Ebene der Ekliptik, die den Wechsel der Jahreszeiten mit sich bringt. Ebenso wie die Erde bewegen sich die übrigen Planeten um ihre Achsen und um die Sonne, und indem man ihre Bewegungen mit der der Erde zusammenfaßt, gelingt es leicht, die scheinbare Veränderung der Geschwindigkeiten der Planeten sowie die seltsamen Schleifen, die sie am Himmel zu beschreiben scheinen, zu erklären. Daß die selbständige Bewegung der Erdachse zur Erklärung der Jahreszeiten nicht notwendig sei, sondern daß es dazu genügte, ihre Lage als im Raum unveränderlich anzunehmen, bemerkte man bald und änderte das kopernikanische System demgemäß ab; den Einwurf aber, den man der Lehre des Frauenburger Domherrn machte, daß infolge ihrer Bewegung die Erde den verschiedenen Teilen des Himmels bald näher kommen, bald sich weiter von ihnen entfernen müßte, begegnete er mit dem Hinweis, daß dies unbemerkbar sei, da der Durchmesser der Erdbahn im Vergleich zu dem Abstand der Fixsterne als verschwindend betrachtet werden müsse. Trotzdem hielt er dafür, daß die Fixsterne an sich dunkle Körper seien, die ihr Licht von der Sonne erhielten. Dagegen findet sich bei ihm die folgende Ansicht über die Schwere. „Ich erachte," sagt er[1], „daß die Schwere nichts

[1]) Nach der Übersetzung von Laßwitz. S. Geschichte der Atomistik. Bd. II. Hamburg und Leipzig 1890, S. 541.

anderes ist, als ein gewisser natürlicher Trieb, welcher den Teilen von der göttlichen Vorsehung des Weltschöpfers eingepflanzt ist, damit sie einander in Form der Kugel vereinigend zu ihrer eigenen Einheit und Integrität sich zusammenschließen. Diese Affektion wohnt, wie man glauben muß, auch der Sonne, dem Monde und den übrigen Wandelsternen inne, so daß sie durch die Wirksamkeit derselben in derjenigen runden Gestalt, in welcher sie sich darstellen, verharren, obwohl sie nichtsdestoweniger in vielerlei Weise ihre Umläufe beschreiben." Man hat darin mehr gesucht, als Kopernikus wohl dabei gedacht haben kann. Denn eine Schwere im Sinne der späteren Anziehungskraft kann er nicht damit gemeint haben, sonst hätte er die Sonne nicht dem Monde und den Planeten gleich gestellt, er sieht in ihr nur die nach Art der Alten als Trieb gedachte Ursache der Kugelform, eine Anschauungsweise, die der späteren mechanischen durchaus nicht an die Seite zu stellen ist.

Auf der anderen Seite aber war er sich wohl bewußt, daß er mit der Aufstellung seines Systemes in Gegensatz zu allen Überlieferungen trat. Deshalb zögerte er mit dessen Veröffentlichung und gab erst langsam dem Drängen seiner Freunde nach, seine Arbeiten zum Drucke zu geben. Gegen 1507 hatte er mit seinen Arbeiten begonnen, erst 1542 händigte er dem Bischof Tiedemann Giese zu Kulm auf dessen Wunsch sein Manuskript ein. Dieser schickte es an Rheticus, den wir bereits gelegentlich seiner Arbeit über die Herstellung von Magneten kennen gelernt haben. Rheticus war 1514 in Feldkirch geboren, 1536 auf Empfehlung Melanchthons als Professor der Mathematik in Wittenberg angestellt, hatte aber seine Stelle 1539 wieder aufgegeben, um von Kopernikus selbst sich in dessen neue Lehre einweihen zu lassen, deren Inhalt er in einem an den Nürnberger Gymnasialprofessor Johann Schoner (1477 bis 1547) gerichteten Schreiben zum ersten Male bekannt machte. Unter dem Titel »Narratio prima de Libris Revolutionum Copernici« erschien es in erster Auflage 1540 zu Danzig und erregte großes Aufsehen. Rheticus brachte das ihm übersandte vollendete Werk des Meisters zu Schoner nach Nürnberg, wo es gedruckt wurde. Da er selbst vor dessen Beendigung nach Leipzig übersiedelte, so trat an seine Stelle der damalige lutherische Prediger in Nürnberg Andreas Hoßmann, der seinen Namen in Osiander latinisiert hatte (1498 bis 1552), welchen letzteren wir deshalb erwähnen müssen, weil er an Kopernikus' Werk eigen-

mächtig eine Änderung vornahm, die dessen Stellung in der Geschichte zu verdunkeln geeignet ist.

In seinem an Papst Paul III. (1534 bis 1549) gerichteten Vorworte hatte Kopernikus gesagt, wie er sich wohl bewußt gewesen sei, daß sein Werk Anstoß und Ärgernis erregen werde, wenn es die Bewegung der Erde lehre, wie er es trotzdem in den Druck gegeben habe, da er die Zustimmung mehrerer hoher Geistlichen sicher gewesen sei, auch sich auf das Zeugnis einiger Schriftsteller des Altertums berufen könne, endlich darauf hinweisen müsse, daß als rechtgläubig anerkannte Schriftsteller auch abweichende Lehrmeinungen über astronomische Gegenstände veröffentlicht hätten. Jedenfalls war er weit davon entfernt, darin seiner Lehre lediglich einen hypothetischen Charakter zuzuschreiben. Gerade dies tut aber die Vorrede, die, mit der Überschrift »De hypothesibus hujus operis«, Osiander dem Werke des Kopernikus vorgesetzt hat, indem er die des Verfassers unterdrückte[1]). Dadurch, daß er die neue Lehre als Hypothese, die nicht wahr, ja nicht einmal wahrscheinlich zu sein braucht, hinstellte, erreichte er freilich, daß die katholische Kirche die neue Lehre als eine unbedenkliche duldete, ja daß Papst Gregor XIII. zuließ, daß die auf sie gegründeten und nach ihren Annahmen berechneten zu Ehren des Preußen Kopernikus „prutenische" genannten Tafeln der Kalenderverbesserung zugrunde gelegt wurden. Ihr Urheber, der Wittenberger Mathematikprofessor Erasmus Reinhold (1511 bis 1553), der zuerst auch die Trigonometrie markscheiderischen Zwecken dienstbar machte[2]), hatte dieselben mit Unterstützung des Herzogs Albrecht von Preußen berechnet. Aber diese Gleichgültigkeit kam wohl auch von der Schwierigkeit, die das Verständnis der neuen Lehre mit sich brachte, und die einen von Reinhold ausgearbeiteten Kommentar sehr wohl rechtfertigte. Wenig Anklang fand sie auch bei den Reformatoren. Luther selbst lehnte sie ab. „Der Narr," meinte er von Kopernikus, „will die ganze Kunst Astronomia umkehren, aber wie die heilige Schrift anzeigt, so hieß Josua die Sonne still stehen und nicht die Erde"[3]), und auch Melanchthon (1497 bis 1560) stand ihr anfangs feindlich gegenüber. In seiner wohl 1545 niedergeschriebenen, aber erst 1549 herausgekommenen ersten

[1]) Sie ist erst 1854 zum ersten Male in den Druck gegeben.

[2]) M. Schmidt, Die Methode der unterirdischen Orientierung und ihre Entwicklung seit 2000 Jahren. Himmel und Erde 1892, IV. Jahrg., Heft 9 u. 10.

[3]) Luthers Tischreden S. 2260.

Ausgabe seiner »Initia doctrinae physicae« wies er sie mit einiger Schroffheit ab, aber er änderte sehr bald seine Ansicht und merzte bereits in der 1550 erschienen zweiten Ausgabe desselben Werkes alles gegen Kopernikus Gesagte aus[1]). Sei es, daß Luthers Auktorität ihn zu seiner anfänglichen Ablehnung bewog, sei es, daß er die neue Lehre nur von dem ersten Unterricht ausschließen wollte, sei es endlich, daß die »Initia« aus Diktaten hervorgegangen sind, die er wohl in den Einzelheiten veränderte und ergänzte, aber bei seiner sonstigen ungeheueren Arbeitslast mit besonderer Sorgfalt umzuarbeiten sich versagen mußte, der »praeceptor Germaniae« erklärte sich nicht rückhaltlos für sie, auch er wies auf ihren Widerspruch mit der Bibel hin. Freilich trat er, der aus voller Überzeugung auf der Seite der Humanisten stand, damit nicht auf die Seite der Scholastik, die er durch Wiederherstellung der griechischen Urtexte bekämpfte, „denn noch bis vor kurzem," schreibt er an Johannes Reiffenstein, „lenkte man die Aufmerksamkeit der Jugend von der wahren Philosophie ab auf die inhaltlosesten Lehren der Scholastik; jetzt nun, da diese aus den Schulen entfernt ist, muß man alles aufbieten, daß die reine und ursprüngliche Philosophie gelehrt wird, welche dazu beitragen muß, wieder einen sicheren und festen Boden zu gewinnen[2])." Daß er von solchem Standpunkte aus die kopernikanische Lehre recht wohl zu schätzen wußte, beweist die lebhafte Unterstützung, die er Reinhold bei der Herstellung der prutenischen Tafeln angedeihen ließ. Franz Beckmann[3]) ist deshalb durchaus nicht im Recht, wenn er die Behauptung aufstellt, daß von Wittenberg alle Opposition gegen die Erdbewegung ausgegangen sei. Noch verhielt sich die katholische Kirche gleichgültig gegen die neue Lehre, bald genug aber sollte sich diese Gleichgültigkeit in bittere Feindschaft verwandeln.

Aber auch bei den Astronomen fand die neue Lehre durchaus nicht ungeteilten Beifall, und gerade der Astronom der damaligen Zeit, der über die meisten Beobachtungen und vorzüglichsten Instrumente ver-

---

[1]) Wohlwill, Melanchthon und Kopernikus. Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften 1904, III. Jahrg., S. 260.

[2]) Nach der Übersetzung von Bernhardt in Philipp Melanchthon, der Mathematiker und Physiker. Wittenberg 1897, S. 13.

[3]) Beckmann, Zur Geschichte des kopernikanischen Systemes. Zeitschrift für die Geschichte und Altertumskunde Ermlands, II. Bd., S. 246. Vgl. Wohlwill a. a. O., S. 260.

fügte, der also, wie kein anderer berufen war, ein Urteil über ihre Brauchbarkeit abzugeben, Tycho Brahe, nahm sie nicht an. Tycho, dessen Name eine latinisierte Form von Tyge ist, war 1546 in Kundstrup auf Schonen geboren, hatte in Kopenhagen, Leipzig, Wittenberg und Rostock Astronomie studiert, sich aber auch mit alchemistischen Studien beschäftigt. 1570 war er nach Kopenhagen zurückgekehrt und hier kamen ihm die letzteren wohl zustatten, da ihm in Rostock in einem Duell der obere Teil der Nase weggehauen war, indem er sich nun das fehlende Stück durch ein wohl stark mit Kupfer legiertes silbernes ersetzte, dessen Farbe mit der der lebenden Nase wohl einigermaßen übereinstimmte[1]). Durch das Erscheinen des neuen Sterns in der Cassiopeja, den er am 11. November 1572 erblickte, als er sich aus seinem Laboratorium nach Hause zum Abendessen begeben wollte, wurde er wieder zur Astronomie geführt, und da ihm 1575 durch König Friedrich II. von Dänemark, wohl hauptsächlich auf Empfehlung des Landgrafen Wilhelm IV. von Hessen-Kassel, den er auf seinen vielen Reisen kennen gelernt hatte, die Mittel zum Bau einer Sternwarte bewiligt wurden, so gab er seinen Entschluß, nach Basel überzusiedeln, auf und blieb in seinem Vaterlande. Er erhielt für seine Sternwarte die Insel Hveen nördlich von Seeland, und er säumte nicht, seine Uraniborg dort zu bauen, in der er bis 1597 blieb, mit einer Anzahl Assistenten oder auch mit öfters ihn besuchenden Gästen eifrig beobachtend. Sein eigenmächtiger Charakter war unterdessen Grund für manches Zerwürfnis, für mannigfache Klagen, namentlich auch seitens der ihm untergebenen Bauern auf Hveen geworden. Den daraus entstehenden Unannehmlichkeiten entzog er sich, indem er seine schöne Sternwarte verließ, die seitdem nach und nach zerfiel. Er selbst folgte nach kurzem Aufenthalt in Wandsbeck einem Rufe des Kaisers Rudolf II. nach Prag, wo er aber schon 1601 starb.

Bereits bei seinen ersten astronomischen Arbeiten hatte sich Tycho überzeugt, daß die mit Hilfe der auf das kopernikanische System sich gründenden prutenischen Tafeln berechneten Himmelserscheinungen viel genauer mit der Wirklichkeit übereinstimmten, als die nach den Alfonsinischen erhaltenen. Doch aber ließ die Genauigkeit auch jetzt noch zu wünschen übrig, da die von Kopernikus angenommene Kreisbewegung der Planeten den wahren Tatsachen nicht entsprach,

---

[1]) Matiegka, Bericht über die Untersuchung der Gebeine Tycho Brahes. Sitzungsberichte der Kgl. Böhm. Gesellschaft der Wissenschaften. Prag 1901, S. 10.

und dieser Umstand sowohl als auch der den Reformatoren anstößige Widerspruch mit der Bibel, veranlaßte ihn 1583 ein Weltsystem aufzustellen, welches zwar die Planeten sich um die Sonne, diese aber mit Mond und Fixsternhimmel um die Erde drehen läßt. Die Halbmesser der Bahnen von Merkur und Venus sollten kleiner, als der der Sonnenbahn, die der übrigen Planeten größer sein. Alle diese Bahnen sind aber Kreise, und da die Planeten nicht an feste Sphären gebunden sind, so ist es durchaus nicht widersinnig, wenn die Marsbahn und die Sonnenbahn, wie es die wirklichen Maße ergeben, sich schneiden. Das Tychonische System ist im 8. Kapitel des zweiten Bandes seiner »Astronomiae Instauratae Progymnasmata«, der den besondern Titel »De Mundi aetherei recentioribus phaenomenis Liber secundus« trägt und in der mit der Uranienburg vereinten Druckerei 1588 gedruckt wurde, enthalten[1]). Der Öffentlichkeit wurde es nicht übergeben, sondern von Tycho bei jeder sich bietenden Gelegenheit an befreundete Gelehrte gesandt. „Das tychonische System," sagt Dreyer[2]), „verzögerte die allgemeine Anerkennung des kopernikanischen nicht, sondern diente als ein Übergang von dem ptolemäischen zu dem letztgenannten. Durch seine Vernichtung der festen Sphären des Altertums und durch die vollständige Niederlage, welche die Scholastiker dadurch sowohl wie durch die andern Ergebnisse seiner Kometenbeobachtungen erlitten, förderte Tycho das kopernikanische System in hohem Maße, weit mehr, als wenn er sich einfach zu dem doch noch unvollkommen ausgebildeten System bekannt hätte, das erst durch die Resultate von Tychos eigenen Beobachtungen zu der einfachen Größe gelangte, die es zum Grundstein der ganzen neueren Astronomie machen sollte."

Namentlich die Forderung des Kopernikus, daß sich die schwere und träge Erde in 24 Stunden um ihre Achse drehen sollte, machte ihm dessen System unannehmbar. Wäre das der Fall, meinte er, so müsse ein von der Spitze eines hohen Turmes herabfallender Stein sehr weit vom Fuße des Turmes niederfallen, während er anderseits der Ansicht war, daß das Meer und die Luft sich mit der Erde bewegen würden, ohne ihrerseits in eine merkbare Bewegung zu geraten, und es sei ganz undenkbar[3]), daß man alle Tage einmal auf dem

---

[1]) Vgl. Dreyer, Tycho Brahe. Deutsch von M. Bruhns. Karlsruhe 1894, S. 171. — [2]) A. a. O., S. 190.

[3]) Brief an Rothmann vom Jahre 1589. Tycho Brahe Epistolarum astronomicarum Libri etc. Uraniburgi 1591. S. 167.

Kopfe stehen sollte, endlich müßte die Schwungkraft längst alle Gegenstände von der Erdoberfläche weggeschleudert haben, wenn sie sich mit so großer Geschwindigkeit drehen sollte[1]). Gegen die Bewegung der Erde um die Sonne aber wandte er ein, daß dann, wenn die jährliche Parallaxe eines Sternes dritter Größe eine Minute bej trüge, ein solcher Stern die Größe der Erdbahn haben müsse, eine Folgerung, der freilich die von Tycho gemachte Voraussetzung zugrunde lag, daß der Winkeldurchmesser eines solchen Sternes eine Minute betrüge[2]).

Das Tychonische Weltsystem konnte sich nicht halten, nachdem Kepler dasjenige des Kopernikus verbessert hatte. Aber dies wäre nicht möglich gewesen, wenn nicht Kepler das von Tycho herbeigeschaffte Beobachtungsmaterial zur Verfügung gestanden hätte. Damit aber sind wir an dem Punkte angelangt, der vor allem das unvergängliche Verdienst Tychos in der Geschichte der Wissenschaft ausmacht. Denn während Kopernikus nur einige wenige gelegentliche Beobachtungen zur Verfügung gestanden hatten, und er daher nur die Möglichkeit hatte dartun können, daß sich alle Himmelserscheinungen aus der Voraussetzung einer im Mittelpunkte des Planetensystemes ruhenden Sonne erklären ließen, so erkannte Tycho als der erste, „daß die vielen den Astronomen verwirrenden Fragen nur durch den Himmel selbst beantwortet werden könnten, aber daß der Himmel diese Antworten nur geben würde, wenn er durch gute Instrumente sorgfältig befragt und jede astronomische Größe aufs neue genau bestimmt würde[3]).“ Wie Regiomontan sorgte er deshalb für eine Reihe von Instrumenten, die nach seiner Angabe und unter seiner Aufsicht in der Uranienburg verfertigt wurden, wo ihm die nötigen Mittel, sowohl in Geld als auch in einem Stab geschickter Mechaniker zur Verfügung standen, und so wurde die mechanische Kunst, die sich in Nürnberg bereits so vielversprechend entwickelt hatte, durch ihn zu einer bis dahin ungeahnten Höhe erhoben. Denn sein Beispiel fand Nachahmung, und namentlich war es der Landgraf Wilhelm IV., der ihm, unterstützt von seinem überaus tüchtigen Uhrmacher Burgi, hierin mit Glück folgte.

---

[1]) Brief an Rothmann vom Jahre 1587. Ebendaselbst, S. 74.

[2]) Brief an Kepler, Dezember 1599. Kepleri Opera omnia. Bd. VIII, S. 717.

[3]) Dreyer a. a. O., S. 10.

Von den Apparaten Tychos sind wohl keine mehr erhalten[1]). Nur nach den von ihm besorgten Kupferstichen[2]) können wir auf die Schönheit und Eleganz der Arbeit, aus seinen Beschreibungen auf die Verbesserungen schließen, die er anbrachte. Diese waren aber von solcher Art, daß sie ohne Anwendung des Tycho noch nicht zur Verfügung stehenden Fernrohres doch für Kepler genügten, um aus ihnen die Gesetze der Planetenbewegung abzuleiten. Zweifacher Art waren die Verbesserungen, die Tycho an den zu seiner Zeit gebräuchlichen Beobachtungsinstrumenten, den Quadranten, Sextanten usw. anbrachte, die eine betraf die Genauigkeit der Einstellung, die andere die der Ablesung. Die erstere war durch Anbringen von Schlitzen in einer am Okularende befindlichen quadratischen Platte erreicht, die den Seiten parallel liefen und von denen drei je nach der Größe des Sterns erweitert oder verengert werden konnten, die letztere durch Benutzung von Transversalen, die die Ablesung bis auf eine Minute genau erlaubten. Dazu waren zwei konzentrische Kreise mit der Gradeinteilung, die bis zu 10 Minuten ging, versehen, die Teilpunkte der einen mit den folgenden der anderen aber durch eine von je 10 Punkten gebildete gerade Linie verbunden, so daß der Raum zwischen den Teilungen mit Zickzacklinien bedeckt war. Die einzelnen Punkte gaben alsdann die Minuten, kleinere Teile aber konnten noch abgeschätzt werden.

Wie Tycho mitteilt, hat er diese Art der Teilung von seinem Lehrer in Leipzig, dem Professor der Mathematik Johannes Homilius[3]) (1518 bis 1562), übernommen, während dessen Schüler Scultetus (1540 bis 1614) sie Regiomontanus oder gar Purbach zuschrieb. Wenn nun auch noch in freilich ebenso wenig glaubwürdiger Weise andere Urheber dieser schönen Idee angegeben werden, so bleibt Tycho doch das unbestrittene Verdienst, die Meßmethode zuerst bei astronomischen Apparaten verwendet zu haben. Sein Schüler Paul Wittich (geb. in Breslau, gest. 1587) machte den Landgrafen Wilhelm mit dieser Methode Tychos bekannt, die dann Burgi insofern verbesserte, als er die Punktreihen durch ausgezogene Linien ersetzte, wie sie später allgemein in Gebrauch kamen[4]).

---

[1]) Gerland, Beiträge zur Geschichte der Physik. Leopoldina, Heft XVIII, 1882. S. 68. — [2]) Astronomiae instauratae Mechanicae. Norimbergae 1602.

[3]) Vgl. Cantor, Vorlesungen zur Geschichte der Mathematik. 2. Aufl. 2. Bd. Leipzig 1900, S. 579.

[4]) Dreyer a. a. O., S. 347 ff.

Die mancherlei Anregungen, die von Tycho ausgingen, fielen namentlich in Kassel auf fruchtbaren Boden. Dort hatte sich der bereits mehrfach erwähnte Landgraf Wilhelm IV., der Sohn des Vorkämpfers der Reformation Philipps des Großmütigen, eine eigene Sternwarte gebaut, in der er mit großem Eifer beobachtete. Die erste Anregung zu diesen Studien hatte ihm das Werk des Ingolstädter Professors Petrus Apianus (Bienewitz, 1495—1527) der sich als einer der ersten um die Ausbildung der kopernikanischen Lehre bemüht und namentlich Scheibeninstrumente erdacht hatte, die die astronomischen Tafeln und Rechnungen ersetzen sollten. Landgraf Wilhelm hatte sie aus Apianus' Hauptwerk, dem 1540 in Ingolstadt im Druck erschienenen »Astronomicum Caesareum« kennen gelernt und in trefflicher Ausführung in Kupfer nachbilden lassen, Nachbildungen, die noch vorhanden sind und einen Hauptschatz der physikalischen Sammlung des Königlichen Museums in Kassel ausmachen. 1532 geboren, hatte er seine Studien unterbrechen müssen, um von 1547 bis 1552 während der Gefangenschaft seines Vaters die Regierung seines Landes zu führen. Nach dessen Rückkehr setzte er sie eifrig fort und auch noch dann, als er nach dem Tode seines Vaters im Jahre 1567 dessen Thron bestieg, bis zu seinem 1592 erfolgten Tode. Doch hatte er sich in dem Astronomen Christoph Rothmann aus Bernburg (gest. lange nach 1597) und dem Uhrmacher Jost Burgi[1]) aus Lichtensteig im Toggenburg (1552 bis 1632), der nach des Landgrafen Tode vom Kaiser Rudolf II. in Prag angestellt wurde, nach dessen Ableben aber nach Kassel zurückkehrte, tüchtiger Gehilfen versichert. Burgi war nicht nur ein sehr geschickter Arbeiter, auch in Mathematik war er wohl bewandert, wie man denn ihm und nicht Neper die ersten Logarithmentafeln verdankt, wie er gewiß unabhängig von Stevin das Rechnen mit Dezimalbrüchen ausbildete; auch ein Triangulierinstrument fertigte er an, drei geteilte Stäbe mit Dioptern und einem Kompaß und einem Proportionalzirkel, der mit dem von Leonardo

---

[1]) Der Name wird verschieden geschrieben. Wolf (Geschichte der Astronomie, S. 273) schreibt Bürgi, da sich die in der Schweiz noch vorhandene Familie ebenso schreibt. Auf die von ihm verfertigten Apparate hat er Byrgi graviert, Rechnungen usw. aber Burgi unterzeichnet. Diese auch von seinem Schwager und Herausgeber seiner Werke Bramer benutzte Schreibweise (Burgius) erscheint demnach den anderen vorzuziehen. (Vgl. auch v. Drach, Die Globusuhr Wilhelms IV. von Hessen, Marburg 1894.)

da Vinci abgebildeten so genau übereinkommt, daß man Burgi als dessen Erfinder nicht mehr wird annehmen dürfen. Beide Apparate sind noch in Kassel vorhanden, ebenso die Uhren und der durch ein Uhrwerk bewegliche Himmelsglobus, zu dessen Anfertigung er hauptsächlich vom Landgrafen berufen war[1]). Denn, während Tycho sich für seine Beobachtungen mit Quecksilberklepshydren begnügt hatte, führte Wilhelm IV. als erster die Zeit als Beobachtungselement ein; das aber konnte er nur, indem ihm für die damalige Zeit außergewöhnlich gut gehende Uhren zur Verfügung standen. Die älteren Uhren, die er sich bauen ließ und zu denen der Augsburger Uhrmacher Hans Buch oder Bucher die Werke lieferten, hatten den nämlichen Zweck, wie Apianus' Scheibeninstrumente, es waren Globen, deren Achse der Weltenachse parallel gestellt war und die sich mit dem Himmel drehten, während ein Sonnenbildchen, das durch einen Schlitz mit dem im Innern des Globus befindlichem Uhrwerk zusammenhing, sich darüber hin bewegte. So bewunderungswürdig nun auch der Mechanismus, so prachtvoll die Ausstattung dieser Kunstwerke war, viel höher, wie der der oben erwähnten Automaten war ihr Werk nicht. Dagegen bewunderte Tycho die von Burgi verfertigte, durch ein Horizontalpendel regulierte Uhr, die 60 Doppelschläge in der Minute machte und nach einer Mitteilung des Landgrafen in 24 Stunden noch nicht um eine Minute fehl ging.

e) Die Optik. Maurolycus und Porta.

Während so die Astronomie die ihr durch die Scholastik angelegten Fesseln mehr und mehr zu sprengen sich anschickte, blieb auch die Optik nicht zurück, obgleich die Fortschritte, die sie aufzuweisen hatte, zunächst noch recht bescheiden waren. Immerhin bereitete sie die Entdeckungen vor, die eine solche Genauigkeit der Beobachtungen, wie sie Tycho erstrebt hatte, erst ermöglichen sollten. Sehen wir von einer Arbeit des Cardanus, die sich auch mit den Farben beschäftigt, deren Flüchtigkeit aber schon Scaliger tadelte, ab, so begegnen wir der im Jahre 1528 in Venedig erschienenen Schrift des Cosentiners Antonio Telesio, lateinisch Telesius, nicht Thilesius[2]) (1482 bis 1533),

---

[1]) Coester und Gerland, Beschreibung der Sammlung astronomischer, geodätischer und physikalischer Apparate im Königlichen Museum zu Kassel. Kassel 1878, S. 6 ff., Taf. 2 u. 3.

[2]) Poggendorff, Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften. Leipzig 1863, Bd. II, Spalte 1076.

der an verschiedenen Orten Italiens Lehrer der Philosophie war, „über die Farben" (de coloribus), die freilich mehr philologisches, als physikalisches Interesse bietet. Zählt es doch nur die bei den Römern üblichen Farbenbennungen auf, nämlich Coeruleus, Caesius, Ater, Albus, Pullus, Ferrugineus, Rufus, Ruber, Roseus, Puniceus, Fulvus und Viridis. Von ebenso geringer Bedeutung ist die Schrift »De Colorum generatione« Neapoli 1570, seines Neffen Bernhardinus Telesius, die, indem sie die vier Elemente des Aristoteles auf zwei zurückführt, da Wärme und Kälte nicht als solche, sondern als Kräfte aufzufassen seien, auch nur zwei einfache Farben anerkennt, die weiße, deren Ursache die Wärme und die schwarze, deren Ursache die Kälte sei. Eine größere oder geringere Trübung des von Natur weißen Lichtes lasse dann die übrigen Farben entstehen[1]).

Wirklich Neues auf dem Gebiete der Optik leistete dagegen Franziskus Maurolycus, der Sohn eines Griechen, der sich nach der Eroberung Konstantinopels durch die Türken nach Messina begeben hatte. Dort war Franziskus 1494 geboren und in den geistlichen Stand getreten, in dem er es bis zum Abte des Klosters Sta. Maria del Porta bei Castro nuovo brachte. Er starb 1575. Namentlich waren es mathematische Arbeiten, mit denen er sich beschäftigte, die seine optischen Studien enthaltende Schrift erschien 1575 unter dem Titel „Photismi de lumine et umbra" in Venedig. Darin gelang es ihm, eine vollständigere Erklärung der Bilder zu geben, welche das durch eine enge Öffnung im Laden eines Zimmers fallende Licht auf der gegenüberliegenden Wand entwirft, als dies Alhazen und Roger Baco imstande gewesen waren. Dann erscheint das Sonnenbildchen kreisrund, wie die Sonne selbst, welche andere Form auch die Öffnung haben mag. Jeder Punkt dieser letzteren bildet ja die Spitze eines Doppelkegels; dessen eine Hälfte die Sonnenscheibe als Basis hat und der einen hinter die Öffnung gehaltenen Schirm in einem Kreise von um so größeren Durchmesser schneidet, je weiter sich der Schirm von der Öffnung befindet. Das von allen Punkten der Öffnung entworfene Bild muß also der Form der Sonnenscheibe um so näher kommen, je kleiner die Öffnung im Vergleich zu der auf dem Schirm entstehenden kreisrunden Fläche ist, und so wird z. B. auch eine dreieckige Öffnung ein rundes Sonnenbild auf dem Schirme entwerfen. Ganz in der nämlichen Weise entstehen die durch die Zwischenräume zwischen

[1]) Wilde, Geschichte der Optik. Berlin 1838, Bd. I, S. 103 ff.

den Blättern auf dem Waldesboden entworfenen runden Sonnenbildchen, die, wie er sich überzeugte, zur Zeit einer partiellen Sonnenfinsternis sichelförmig sind, entstehen die Bilder anderer Gegenstände hinter einem mit einem Loche versehenen Schirme. Weniger befriedigen des Maurolycus Bemerkungen über die Spiegel; die Lage des Brennpunktes eines Hohlspiegels scheint er nicht beobachtet zu haben. Dies ist um so auffallender, als seine Arbeiten über die Brechung wichtiges Neues bringen. Er zeigte nämlich, daß bei der Brechung durch eine planparellele Platte der austretende Strahl dem auffallenden parallel ist, eingehender aber hat er sich mit der Lichtbrechung in einer gläsernen Kugel beschäftigt. Er sagt über diese Erscheinung: »Mitzuteilen ist, daß, indem ich Sonnenstrahlen durch eine durchsichtige Kugel hindurchgehen ließ, nicht alle in denselben Punkt zusammenliefen; jeder von ihnen schneidet den der Achse nähern und wird von dem entfernteren geschnitten. Die aus der Kugel tretenden Strahlen bilden also einen Kegel, dessen Grundfläche die Oberfläche eines Teiles der Kugel ist, innerhalb dessen die Durchschnittspunkte aller Strahlen liegen. Seine Seiten sind aber nicht gerade Linien, sondern wegen der aufeinander folgenden Schnitte der Strahlen, krumme; der Scheitel aber ist die äußerste Grenze jener Durchschnitte«[1]). Damit ist zum ersten Male die diakaustische Fläche beobachtet und ihre Entstehung erklärt.

Man hätte nun erwarten sollen, daß ihm die Erklärung des Regenbogens, die, wie wir sahen, die arabischen Forscher bereits viel früher klar gelegt hatten, in ähnlicher Weise hätte gelingen müssen, da er zu diesem Zwecke ja auch das auf durchsichtige Kugeln fallende Licht zu betrachten hatte. Dabei aber nahm er von jeder Brechung Abstand, ließ vielmehr den einfallenden Strahl siebenmal von der inneren Fläche zurückgeworfen werden und dann in das Auge des Beobachters treten. Die Reflexion sollte jedesmal unter einem Winkel von 45° geschehen und dabei sollen die Farben hervorgerufen werden. Wo am meisten Licht hinfalle, solle die rote Farbe auftreten, wo weniger Licht mit

---

[1]) Notandum, quod, quoniam solares radii per diaphanem sphaeram transmissi, non omnes eodem concurrunt, quilibet eorum propiorem centro secat, et aremotiori secatur. Ideo radii ipsi sphaera egressi, conum quendam efficiunt, cuius basis est superficies sphaericae portionis, intra quam terminantur omnium radiorum congressus: Latera vero non recta, sed, propter huiusmodi successivas radiorum sectiones, curva sunt; vertex autem est extremus terminus congressuum. (Maurolycus Photismi etc. Lib. I, theor. 24, Scholion.)

mehr Wasser zusammentrete, werde die grüne Farbe erzeugt und in ähnlicher Weise denkt er sich das Auftreten der übrigen Farben. Will man ihm also ein Verdienst, das er sich durch diese Erklärungsweise erwarb, zusprechen, so wäre es das, daß er, wie auch jetzt noch üblich ist, sieben Regenbogenfarben unterschied; aber wie gering ist das, wenn man bedenkt, daß es ihm unmöglich war, die 45° nicht überschreitende Höhe des Regenbogens verständlich zu machen.

Dafür aber sind seine Betrachtungen über die Wirksamkeit des Auges, dessen Anatomie er wohl kannte, von größerem Werte. Da er wußte, daß eine doppelt-konvexe Linse die Strahlen in einem Punkte der Achse vereinigt, eine doppelt-konkave aber sie zerstreut, und daß dies in um so höherem Maße der Fall ist, je größer die Krümmung ihrer Oberflächen ist, so gelang es ihm leicht, in der nämlichen Weise die Wirkung der Krystallinse des Auges zu erklären, die man früher stets als Schirm für das in das Auge fallende Bild aufgefaßt hatte. Nur die in die Augenachse eintretenden Strahlen können deshalb seiner Ansicht nach ungebrochen durch die Linse hindurchtreten, alle übrigen werden gebrochen. Hinter der Linse solle dadurch ein Bild entstehen; da er dieses aber für ein aufrechtes hielt, so glaubte er, die verschiedene Krümmung der beiden Linsenfläche bewirke, daß die Strahlen vor ihrer Vereinigung den Sehnerven träfen. Auch die Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit suchte er zu erklären. Jene sollte in zu starker Krümmung der Krystallinse ihren Grund haben, die die Strahlen zu frühe vereinigte, diese durch zu schwache Krümmung mit entgegengesetzter Wirkung verursacht werden. Jener müsse man also mit einer die Strahlen zerstreuenden Konkavlinse, diese mit einer sie sammelnden Konvexlinse abhelfen. Diese auch jetzt noch gültige Erklärung läßt darauf schließen, daß zu seiner Zeit der Gebrauch der Brillen ein bereits so ausgebreiteter geworden war, daß man auch der Kurzsichtigkeit damit abhalf.

So sehen wir Maurolycus auf dem allerdings beschränkten Gebiete, daß er sich für seine Forschung ausgewählt, selbständig und tüchtig in solcher Art arbeiten, daß mit wenigen Ausnahmen seine Ergebnisse die Wissenschaft wirklich förderten. Anders verfuhr sein jüngerer Landsmann Giambattista della Porta, der 1538[1]) in Neapel geboren, nach mannigfachen Reisen, in Italien, Frankreich

[1]) Wilde nimmt die Zahl 1543 an, auch andere Geburtsjahrsangaben finden sich. Ich folge hier der besser verbürgten Annahme von Poggendorff in seinem Biographisch-literarischen Handwörterbuch.

und Spanien, zu welchen ihm sein bedeutendes Vermögen die Mittel gab, 1615 in seiner Vaterstadt starb. Von vielseitiger Begabung und früher Reife schrieb er sein Hauptwerk, die »Magiae naturalis sive de miraculis rerum naturalium Libri IV«, im Alter von 20 Jahren, hatte aber die Freude, es bald in solcher Weise anerkannt zu sehen, daß es vielfach aufgelegt und auch in andere Sprachen übersetzt wurde[1]). Es war ein Sammelwerk nach Art der Naturgeschichte des Plinius, mit dem es ebenso hinsichtlich des Reichtumes seines Inhaltes, als dessen kritikloser Zusammenstellung die größte Ähnlichkeit hat. Namentlich gilt dies von den ersten Auflagen, während die späteren gereiftere Kenntnisse und zutreffenderes Urteil erkennen lassen. Suchte er doch auf seinen Reisen seine Kenntnisse nicht nur durch den Besuch der Bibliotheken und der Gelehrten zu bereichern, er verschmähte es auch nicht, sich mit dem bekannt zu machen, was bei den Handwerkern als Neues zu finden war. So hat Portas Magia naturalis für die Geschichte der Wissenschaft die Bedeutung, daß sie das gesamte Wissen seiner Zeit, freilich auch deren recht umfangreichen und oft überaus geschmacklosen Aberglauben uns aufbewahrt hat. Ehe man die Quellen kannte, aus denen er schöpfte, hat man Porta eine Reihe von Erfindungen zusprechen zu müssen geglaubt. Ihre Anzahl ist immer geringer geworden, je mehr man die Literatur des Mittelalters kennen lernte. So bleibt ihm nur noch die Erfindung der Camera obscura, die sich zuerst in der Ausgabe der Magia von 1589 findet, von ihren Verfasser für sich aber nicht einmal in Anspruch genommen wird. Die Erfindung bestand lediglich darin, daß er in die bildentwerfende Öffnung des von Maurolycus erklärten, aber längst vor ihm bekannten Apparates eine Sammellinse einsetzte, deren Zugabe das erhaltene Bild viel schärfer werden ließ. Den Hauptinhalt seines Buches bilden dessen Bestimmung gemäß physikalische Spielereien, wie sie geeignet sind, den Laien in Verwunderung zu setzen. Es beschäftigt sich demgemäß eingehend mit dem Winkelspiegel, schildert ausführlich die Bilder des Hohlspiegels und deren Umkehrpunkt, wie er den Brennpunkt nennt, macht auf die mächtige Wärmewirkung in ihm aufmerksam, sucht aber auch, wie Alhazen, Hohlspiegel herzustellen, deren Brennpunkt hinter dem

[1]) Die älteste Auflage erschien 1558. Weitere wurden 1561, 1564 und 1585 bei Plantyn in Antwerpen ausgegeben. Eine holländische Übersetzung erschien 1566, eine deutsche nach 1713. Auch in die italienische, französische, spanische, ja sogar in die arabische Sprache wurde die Magia naturalis übersetzt.

Spiegel liegt. Wenn er den Brennpunkt des Hohlspiegels in die Mitte des Kugelhalbmessers setzt, so ist ihm das keineswegs als besonderes Verdienst anzurechnen, beweist es doch nur, daß es ihm auf die von Alhazen erstrebte äußerste Genauigkeit nicht ankam. Die Bestimmung des Brennpunktes einer Linse ist ihm nicht gelungen, wohl aber hat er sich mit den durch sie zu erhaltenden Bildern eingehend beschäftigt. Auch die von zwei Linsen entworfenen betrachtet er. „Konkavlinsen", sagt er im 10. Kapitel seiner Magia naturalis, „lassen entfernte Gegenstände sehr deutlich erkennen, konvexe nahe; von welchen Eigenschaften man für das Sehen mit Vorteil Gebrauch machen kann. Durch ein Konkavglas erscheinen entfernte Gegenstände klein, aber deutlich, durch ein Konvexglas nahe größer, aber undeutlich. Wenn man also beide in richtiger Weise zusammensetzen gelernt hat, so wird man sowohl entfernte als auch nahe größer, aber deutlich sehen. Keine geringere Hilfe haben wir deshalb vielen Freunden geleistet, welche Entferntes undeutlich, Nahes verwaschen sahen, so daß sie alles aufs beste sehen konnten«[1]). Diese recht unklare Auseinandersetzung, die um so eigentümlicher anmutet, wenn man bedenkt, daß nach ihres Urhebers Ansicht die Bilder im Auge auf der Kristallinse entworfen werden, beruht doch offenbar nur auf einem dialektischen Kniff, und Wilde [2]) möchte kaum berechtigt sein, in ihr eine Anspielung auf das holländische Fernrohr zu sehen. Daran freilich, daß eine solche Erfindung wirklich gemeint sein könne, denkt auch Wilde nicht, macht vielmehr darauf aufmerksam, daß ähnliche Vorschläge für die Zusammenstellung zweier Linsen auch vor Porta in ebenso unklarer Weise gemacht worden sind, so daß auch hierin der Neapolitaner nicht einmal originell ist. Ebensowenig möchte dies der 1573 bei Bristol gestorbene Engländer Leonard Diggs sein, den Brewster[3]) auf eine Bemerkung seines Sohnes Thomas Diggs in der Vorrede zu der 1591 erschienenen zweiten Auflage der Pantometrie seines Vaters hin, als Erfinder des Fern-

[1]) Concavae lentes, quae longe sunt, clarissime cernere faciunt, convexae propinqua; unde ex visus commoditate his frui poteris. Concavo longe parva vides, sed perspicua; convexo propinqua majora, sed turbida. Si utrumque recte componere noveris, et longinqua et proxima majora, sed clara videbis. Non parum multis amicis auxilii praestitimus, qui et longinqua obsoleta, proxima turbida conspiciebant, ut omnia perfectissime contuerentur. Lib. VII, prop. 60.

[2]) Vgl. Wilde a. a. O., Bd. I, S. 119.

[3]) Brewster, Optics. London 1831, S. 466.

rohres angesehen wissen will. Geht doch Diggs, worauf schon Robert Hooke aufmerksam machte nicht über Porta hinaus, von dem er sich als abhängig erweist[1]). Auch das, was Porta über den Regenbogen sagt, kann auf selbständiger Forschung nicht beruhen.

Dies Urteil über ihn ändert sich nicht, wenn man den weiteren Inhalt der Magia naturalis ins Auge faßt, den als Portas Eigentum anzusehen man wohl ebensowenig berechtigt ist. Die Frage, wieviel Luft nötig sei, um sich in eine gegebene Menge Wasser zu verwandeln, wobei unter Luft natürlich Dampf zu verstehen ist, hatten schon die Alexandriner behandelt; daß deren Werke Porta namentlich als Vorbild dienten, beweist überdies der Vorschlag, Wasser mit Anwendung eines Hebers über einen Berg zu führen, ohne Pumpen nötig zu haben, und die luftthermometrische Einrichtung, die bereits Philon angegeben hat. Aus dem in der zweiten Abteilung des vierten Abschnittes Mitgeteiltem, wird man ersehen haben, daß Porta auch über den Magneten Neues nicht vorzubringen weiß. Daß der Magnet durch alle Körper, Eisen ausgenommen, hindurch wirkt, daß sich gleichnamige Pole anziehen, ungleichnamige abstoßen, daß man Eisen durch Streichen mit dem Magnetstein so zum Magneten machen kann, daß der gestrichene Teil den umgekehrten Pol erhält, wie der zum Streichen verwendete Pol war, wußte man bereits lange vor Abfassung der Magia naturalis, und so bleibt für Portas Originalität und seine Geschicklichkeit im Experimentieren auch auf diesem Gebiete nichts übrig. Denn diese Anweisung, daß man den zu magnetisierenden Stab vor dem Streichen gelinde mit einem Hammer schlagen müsse, spricht durch seine Annahme, es werde dadurch der Magnetismus aus den Poren des Stabes ausgetrieben, gegen ihn, mehr aber noch die weitere Behauptung, daß ein gewisses Größenverhältnis zwischen zwei Stäben stattfinden müsse, wenn der eine den andern kräftig magnetisieren solle, und ebenso die Vorschrift, daß man die Spitze der Magnetnadel am besten abstumpfe.

Trotzdem ist der Neapolitaner in zwei Dingen vorbildlich gewesen. Das erste ist die Form seines Werkes, welches auf die physikalische Literatur bestimmend einwirkte. Die meisten Bücher über Physik der nächsten Zeit schlossen sich der Magia naturalis mehr oder weniger an, und es dauerte lange, ehe man begann, eigentliche Lehrbücher der Physik zu schreiben. Das zweite ist die Gründung eines naturwissenschaftlichen

---

[1]) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 179.

Vereines, das sich bis zur Gegenwart eifrigster Nachahmung erfreut. Er rief die Akademie der Naturgeheimnisse (Academia secretorum naturae, Academia dei Oziosi) ins Leben, wenn sie auch vom römischen Hofe bald nach ihrer Gründung wieder aufgelöst wurde, da sie und ihr Stifter in den Verdacht der Zauberei gerieten, von welchem sich der letztere in Rom in besonderer Verhandlung reinigen mußte, so wurde ihr Beispiel doch der Ausgangspunkt vieler ähnlicher Vereine. Hatte sie als Mitglieder niemanden aufgenommen, der nicht eine in ihren Wirkungskreis passende Entdeckung gemacht hatte oder doch wenigstens eine Neuigkeit mitzuteilen imstande war, so verfolgte die von Bernhardinus Telesius gegründete Academia Telesiana oder Consentina das Ziel, die Irrtümer der aristotelischen Lehre aufzudecken, und es dauerte nicht lange, bis überall in den größeren italienischen Städten ähnliche Akademien auftraten. Bald folgten Frankreich, England und Deutschland dem Vorbilde der Italiener, und damit war eine Bewegung eingeleitet, welche für die Fortschritte der Naturwissenschaften von der allergrößesten Bedeutung werden sollte und vor allen in niemand geringerem, wie Leibniz einen ihrer kräftigsten Förderer fand. Wir werden in folgendem uns ausführlich mit diesen Akademien zu beschäftigen haben, zunächst aber haben wir den weitern Bestrebungen nachzugehen, die die Herrschaft der Scholastik immer mehr zu beseitigen bestimmt waren.

f) Beseitigung der aristotelischen Elemente[1]. Paracelsus, Cardano und Giordano Bruno.

Obwohl es in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts keineswegs ungefährlich war, sich gegen aristotelische Lehren zu erklären, so mehren sich doch seit Nikolaus von Cusa die Versuche, die Fesseln, die sie der freien Entwicklung der exakten Naturwissenschaft angelegt hatten, zu sprengen. Hatte der Cusaner bereits die vier Elemente des Stagiriten beseitigt und an ihre Stelle Anschauungen gesetzt, die die von diesem verworfenen Atome wieder zu Ehren brachten, so waren es nunmehr chemische Versuche, die die noch unklaren Begriffsbestimmungen zu bestimmteren zu machen suchten. Zwar gelang dies nicht sogleich dem Sekretär des Kaisers Maximilian I., Heinrich Cornelius Agrippa von Nettesheim, der 1486 zu Köln geboren, 1535 zu Grenoble starb, nachdem er nach Aufgabe seiner Stel-

[1] Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Bd. I. Hamburg und Leipzig 1890, S. 288 ff.

lung sein Leben damit verbracht hatte, den Stein der Weisen zu suchen, und „sich ein wohlbegründetes Recht erworben hatte, am Ende seiner Tage in Zurückgekommenheit und der bittersten Armut ein Buch »de incertitudine et varietate scientiarum«[1])“ zu verfassen. Er behielt die aristotelischen Elemente noch bei, schrieb ihnen aber Eigenschaften zu, Dünne (raritas), Beweglichkeit (motus) und Schärfe (acuitas), die in bestimmten durch Zahlen ausdrückbaren Verhältnissen stehen sollten; das Feuer sollte doppelt so dünn, dreimal so beweglich und viermal so scharf wie Luft sein, Luft sich ebenso zu Wasser, dieses zu der Erde verhalten. Die in Verbindung tretenden Elemente sollten die Körper zusammensetzen, die dann je nach der Art dieser Zusammensetzung verschiedene Eigenschaften, die qualitates occultae erhielten, die aber nur durch die Erfahrung erkannt werden können. Da aber die Körper von selbst weder eine Wirkung ausüben, noch in Bewegung geraten können, so müssen sie beseelt sein, denn nur die Seele ist durch sich selbst beweglich. Eine solche, die „Weltseele“ oder der »Spiritus mundi«, stellt deshalb die Verbindung des die Bewegung erteilenden göttlichen Geistes und der unbeweglichen Körperwelt dar. Er muß also die Körperwelt durchdringen und stellt sich so zwanglos als das fünfte Element des Aristoteles, als dessen Äther oder als die Quintessenz der Alchemisten dar. Damit ist der Weltzusammenhang erklärt, denn die Dinge sind, wie die sie belebenden Geister, einander feindselig und stoßen sich ab oder sie sind miteinander befreundet und ziehen sich an, und so ist ihm alle Magie eine natürliche und bei allem Aberglauben, den sein 1533 in Köln zuerst gedrucktes Werk »De occulta philosophia« enthält, denkt er nie daran, daß der Zusammenhang der Natur zu durchbrechen wäre, sondern meint, daß ihre Geheimnisse durch die Kenntnis der Gesetze der Geisterwelt geoffenbart werden könnten. So hatten den substantiellen Formen gegenüber, die die irdische Welt bildenden Körper ein selbständiges Leben gewonnen, die aristotelischen Elemente, an deren Stelle bereits Raymundus Lullus und Villanovanus, wie wir sahen, das flüchtige und konsistentere Prinzip des Merkurius und des Sulfur gesetzt hatten, traten immer mehr hinter diesen zurück.

Diesen beiden fügte Paracelsus ein drittes hinzu, das feuerbeständige Sal, doch so, daß die verschiedenen Stoffe ihre besonderen

[1]) Kopp, Geschichte der Chemie. Bd. II. Braunschweig 1844, S. 214. — Derselbe Geschichte der Alchemie. Heidelberg 1886, Teil I, S. 235.

Mercurii, Sulfura und Sales haben. Paracelsus war 1493 zu Einsiedeln in der Schweiz geboren und führte, nachdem er einige Jahre in Basel Arzt und Professor der Medizin gewesen war, ein unstetes Leben, bis er 1541 in Salzburg starb. Er hieß eigentlich Philippus Theophrastus von Hohenheim, welchen Namen er in den obigen latinisierte, sich selbst legte er den Namen Aureolus bei, nach seinem Großvater wurde er Bombastus genannt. An seinen Namen knüpfen sich eine Reihe Sagen an, die ihn keineswegs immer im vorteilhaften Lichte zeigen, während die neueste Forschung eine altevangelische Religiosität bei ihm findet[1]). Jene Sagen erklären sich wohl aus seinem Auftreten gegen Andersdenkende wie er. Andersdenkende aber waren fast alle seine Zeitgenossen, denn er trat als Reformator sowohl in der Chemie als auch in der Medizin auf und ging mit seinen Gegnern keineswegs immer säuberlich um. Seine Werke wurden 1589 bis 1591 von Huser in Basel herausgegeben, eine von Strunz besorgte neue Ausgabe ist seit 1903 im Erscheinen begriffen[2]). Ihre Originalität ist lange Zeit bezweifelt worden. Denn im ersten Jahrzehnt des 17. Jahrhunderts veröffentlichte Johannes Thölde in Frankenhausen in Thüringen Schriften eines gewissen Basilius Valentinus, die, wenn auch in abgeglichenerer Form die Ansichten des Paracelsus ebenfalls vortrugen, der Benediktiner Valentinus aber sollte im Anfange des 15. Jahrhunderts gelebt und gewirkt haben. Namentlich durch Kopp[3]) ist nun aber nachgewiesen, daß diese Schriften wahrscheinlich von Thölde selbst in der Absicht verfaßt worden sind, um die Härten der Paracelsischen Lehre zu mildern und zwischen ihr und der Scholastik zu vermitteln.

Paracelsus setzt anstatt der vier aristotelischen nur die drei oben genannten Elemente, aber er betrachtet sie nicht als Qualitäten, sondern als Substanzen, so daß er, ebenso wie wir jetzt verschiedene Gase unterscheiden, verschiedene Merkure usw. voraussetzte. Er suchte die einzelnen dieser Stoffe durch ihr chemisch-physikalisches Verhalten zu charakterisieren und bereitete so den Begriff des chemischen Ele-

---

[1]) Fr. Strunz, Theophrastus von Hohenheim im Lichte der jüngsten Wissenschaft. Wiener medizinische Wochenschrift 1902, Nr. 2 bis 4.

[2]) Leipzig bei Eugen Diederich. Vgl. auch Sudhof, Hohenheims literarische Hinterlassenschaft. Atti del Congresso internazionale di Scienze storiche (Roma 1903), Roma 1904, Vol. XII, S. 51.

[3]) Kopp, Geschichte der Alchemie. 1. Teil. Leipzig 1886, S. 31.

mentes vor. Als Ursache ihrer Wirksamkeit nahm er allerdings noch einen, einem jeden von ihnen eigenen Lebensgeist, einen »Archeus« an, den er aber nicht als eine Persönlichkeit, sondern als eine Naturkraft betrachtete. So erscheinen bei ihm im Element Stoff und Kraft vereinigt, Abscheidung und Aufnahme von Stoffen aber lassen die Körper entstehen; beide Wirksamkeiten umfassen den Weltlauf, und aus ihnen muß sich die ganze Welt erklären lassen. So gab des Paracelsus Lehre der Medizin und Philosophie, aber auch der Chemie einen neuen Inhalt, und seine Lehre wurde namentlich deshalb so bedeutungsvoll für die Geschichte der exakten Wissenschaften, weil er rücksichtslos die Forderung stellt, die Kenntnis von den natürlichen Dingen nur auf empirischem Wege zu suchen, wenn sie von Wert sein sollen.

Von ganz anderen Voraussetzungen ging Paracelsus jüngerer Zeitgenosse Geronimo Cardano aus, um auf die nämlichen Anschauungen geführt zu werden. 1501 zu Pavia geboren, wurde er 1534 praktischer Arzt und Professor der Mathematik in Mailand, später Professor der Medizin in Pavia und Bologna, ging dann 1570 nach Rom, wo ihm eine päpstliche Pension das Leben fristete, und er 1576 starb. Sein an traurigen Wechselfällen reiches Leben hat er selbst beschrieben und unter dem Titel »De vita propria« herausgegeben, dessen Inhalt Cantor der VIII. Sektion des internationalen Kongresses der historischen Wissenschaften in Rom 1903 mitgeteilt hat[1]). Er wollte nicht an der Autorität des Stagiriten rütteln, nur seine Lehre entsprechend abändern. Deshalb nahm er die aristotelischen Elemente zwar an, aber nur Erde, Wasser und Luft, „denn die Sublimation lehrt uns nur drei Substanzen kennen, das Wasser für Wasser, das Öl anstatt der Luft und die Erde, welche die unterste Stelle einnimmt[2])." Das vierte aristotelische Element, das Feuer, aber ist keine Substanz; es wird aus der Wärme, diese aber durch die Bewegung erzeugt, und so besteht das Wesen der Wärme in der Bewegung[3]). Wie die irdische Qualität

---

[1]) Atti del Congresso internazionale di Science storiche. Roma 1904, Vol. XII, S. 31.

[2]) Hieronymi Cardani De subtilitate Libri XXI, lib. 3, S. 40: Sublimationes etiam tres substantias tantum docent, aquam pro aqua, oleum vice aëris, et terram, quae in imo subsidet. Vgl. Laßwitz, Geschichte der Atomistik. I. Bd. Hamburg und Leipzig 1890, S. 309.

[3]) A. a. O., lib. II, S. 64.

die Feuchtigkeit ist, so ist die himmlische die Wärme, die sich mit dem Trockenen zur Wärme des Feuers, mit dem Feuchten aber zur Lebenswärme verbindet. Diese wiederum bewirkt als Weltseele alles Entstehen und Vergehen. In den zusammengesetzten Körpern, die ohne sie nicht zustande kommen können, sind die drei Elemente so vorhanden, daß sie die Form eines von ihnen zeigen, während sie von den übrigen nur die Kräfte enthalten. Eine bestimmte Ansicht hatte er sich von der Verbrennung gebildet; es entsteht dabei ein doppelter Rauch, ein feiner, der nur wärmt und trocknet und in Luft übergeht, und ein dichter, der namentlich dann auftritt, wenn das Brennmaterial feucht ist. So wird hier das aus der Zahl der Elemente gestrichene Feuer zur Bewegung, die Bewegung selbst aber zum Mittel Veränderungen in der Körperwelt hervorzurufen.

Cardanos Ansichten stimmten mit den scholastischen trotz des in ihnen enthaltenen Fortschrittes doch noch zu weit überein, als daß sie ihn mit der Kirche hätten in Konflikt bringen können, und so war die 77tägige Gefangenschaft, die über ihn verhängt wurde, ehe er nach Rom übersiedelte, lediglich durch Verleumdungen seitens ihm feindlich gesinnter Mitbürger verursacht. Nicht in dem gleichen Maße glücklich war Giordano Bruno, der, 1548 in Nola geboren, in jüngeren Jahren in den Orden der Dominikaner getreten war, es aber wegen Meinungsverschiedenheiten mit seinen Ordensobern und Ordensbrüdern geraten gefunden hatte, um deren Folgen zu entgehen, aus Italien zu entfliehen. Er lebte seitdem in der Schweiz, in Frankreich, England und Deutschland, überall lehrend und sich schriftstellerisch betätigend, bis er sich nach Italien zurückbegab, um in Padua Vorträge über seine Lehre zu halten.

Diese schloß er eng an die des Nikolaus von Cusa an. Wie der Kardinal verneint er die Möglichkeit einer bis ins Unendliche gehenden Teilung räumlicher und körperlicher Gebilde, nimmt vielmehr ein Minimum der Teilbarkeit an, als welches er für den Raum den Punkt, für die Körperwelt das Atom ansah. Für beide braucht er auch wohl den Ausdruck »Monas«, der später bei Leibniz eine so große Rolle spielte. Da er aber unter Punkt keineswegs den mathematischen Punkt verstanden haben will, sondern das Raumelement, dem er eine kugelförmige Gestalt zuspricht, so kann er den Einwand, daß zwei zusammengebrachte Punkte einander decken müßten, durch die nähere Bestimmung zurückweisen, daß dies nicht für die Punkte selbst, sondern nur für

ihre Grenze gilt[1]). So tritt bei ihm zuerst das „Unendlich Kleine" auf, das, von Leibniz weiter ausgebildet, später der Ausgangspunkt der Infinitesimalrechnung werden sollte. Aus den physischen Atomen aber ist die Körperwelt zusammengesetzt. Auch sie haben eine runde Gestalt, in ihren Zwischenräumen aber befindet sich das Vakuum oder der Äther, der zugleich als Weltgeist aufgefaßt wird und als unveränderlich und unvergänglich erscheint. Nicht von ihm, sondern von den in ihm gebetteten Atomen der Körperwelt gehen alle Veränderungen, die wir beobachten können, hervor. Wirkt er auch auf sie ein, so geschieht dies nicht auf mechanische Weise, sondern er tut dies als Weltgeist, von dem alle Kräfte ausgehen. Die Atome ihrerseits zeigen keine Verschiedenheit, die Verschiedenheit der Körper wird nur durch ihre Zusammensetzung bewirkt, und so erscheint unsern Sinnen nur das Kontinuum, was in Wirklichkeit aus getrennten Teilchen besteht. Die Körper werden durch das Trockene, das durch das dicht und schwer machende Flüssige verbunden wird, gebildet. Der Äther erfüllt aber nicht nur den Raum zwischen den Körperatomen, sondern auch den von Körpern freien. In ihm befindet sich die Sonne, aber auch die Sterne, die nicht an einer Kristallsphäre befestigt, sondern im Raume verteilt sind. Die Annahme einer Kristallsphäre ist also zu verwerfen. Um die Sonne drehen sich, wie es Kopernikus gelehrt hatte, die Planeten und mit ihnen die Erde, ebenso umkreisen Planeten jeden der Sterne, in denen, die Erde mit eingerechnet, wir denselben Stoffen begegnen. In dem ewigen Kreislauf aller Stoffe geht nichts verloren, alles Vergehende bewirkt nur neues Leben. Seine physikalischen Atome, die als trockene Stäubchen gedacht werden, treten als Vorbilder der physikalischen Korpuskulartheorie auf, das Minimum aber, was keine Teile gleicher Art mehr enthält, deutet auf die Molekel der Chemiker hin[2]).

Diese Lehre von der Vielheit der Welten, die als unvergänglich angesehen wurden, konnte von dem scholastischen Standpunkt der Kirche unmöglich gebilligt werden. Aber auch seine Ansichten über die vis impressa, die er 1586 in Paris öffentlich verteidigte, mußten Ärgernis erregen. Im Widerspruch zu der aristotelischen Lehre erklärte er wohl als erster die Tatsache, daß ein Stein, den ein auf einem fahrenden

---

[1]) Vgl. Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Hamburg und Leipzig. Bd. I. 1890, S. 370.

[2]) S. Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Hamburg und Leipzig. Bd. I. 1890, S. 399.

Schiffe befindlicher Beobachter fallen läßt, sich mit dem Schiffe fortbewegt, im Gegensatz zu einem, den ein am Ufer befindlicher losläßt, aus der jenem eingeprägter Kraft[1]). Indem noch eine Reihe von Darlegungen theologischen Inhaltes hinzukam, erschien nun eine Lehre gefährlich, die man zu Zeiten des Cusaners als unbedenklich hingenommen hatte. Die Inquisition glaubte dagegen einschreiten zu müssen, indem sie sich der Person ihres Urhebers bemächtigte. Nach zweijähriger Gefangenschaft — so lange dauerte der Prozeß, der ihm gemacht wurde — verurteilte man Giordano zum Feuertode. Am 17. Februar 1600 bestieg er den Scheiterhaufen, drei Jahre später kamen seine Schriften auf den Index der verbotenen Bücher.

g) Die weitere Ausbildung der Mechanik. Tartaglia, Cardano, Benedetti.

Eingehender als Giordano Bruno beschäftigten sich Geronimo Cardano und Niccolo Tartaglia (1506 bis 1557) mit mathematischen und mechanischen Fragen. Seinen Namen Tartaglia, d. i. der Stotterer, verdankte der letztere dem Sprachfehler, der bei der Heilung einer schrecklichen Verwundung, die ihm als Kind bei der Eroberung seiner Vaterstadt Brescia im Jahre 1512 an den Rand des Todes brachte, zurückgeblieben war; seine Kenntnisse in der Mathematik verdankte er, da seine überaus dürftigen Verhältnisse ihm den Besuch eines regelmäßigen Unterrichtes unmöglich machten, seinem eigenen Fleiße. Sie setzten ihn in den Stand, in seinem zum Teil 1556, zum Teil erst 1560, also nach seinem Tode, gedruckten Trattato di numeri et misure ein vortreffliches Lehrbuch der Rechenkunst zu schreiben. Daß er die Auflösung kubischer Gleichungen von der Form $x^3 + ax = b$ selbständig gefunden habe, ist neuerdings von Cantor[2]) in Anlehnung an Gherardi[3]) bestritten, wenn auch nicht bewiesen werden kann, daß er sie von Dal Ferro entlehnt hat. Seine uns hier am meisten interessierenden Verdienste um die Behandlung der Wurflehre aber

[1]) G. Bruno, Cena delle ceneri. Dialog. III. Vgl. E. Wohlwill, Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft, Bd. XIV, S. 389 und Bd. XV, S. 94.

[2]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik, 2. Bd. 2. Aufl. Leipzig 1900, S. 493 u. 531.

[3]) Gherardi, Einige Materialien zur Geschichte der mathematischen Fakultät der alten Universität Bologna. Deutsch von Curtze, Grunerts Archiv, Bd. 52.

hat neuerdings E. Wohlwill[1]) auf ihr bescheidenes Maß zurückgeführt. Sie hat Tartaglia in seiner 1537 in Venedig erschienenen Schrift Nuova Scientia und später in seinen 1546 erschienenen Quesiti et inventioni diverse besprochen. Man glaubte zu seiner Zeit, daß sich die Wurfbewegung aus zwei geradlinigen Teilen am Anfang und Ende und einem gekrümmten mittleren Teile zusammensetze. Im Anfang sollte die Bewegung eine gewaltsame, am Ende eine natürliche sein, der mittlere gekrümmte Teil eine Mischung beider darstellen. Diese gemischte Bewegung verwirft zwar Tartaglia, da die gewaltsame Bewegung stets an Geschwindigkeit ab-, die natürliche ebenso zunehmen muß und stellt sich so auf aristotelische Grundlage. Daraus folgt ihm dann die Unmöglichkeit der gemischten Bewegung, denn es könne ein Körper sich nicht zugleich mit wachsender und abnehmender Geschwindigkeit bewegen. Der gekrümmte Teil der Bahn aber soll durch den Einfluß der Schwere entstehen und deshalb von Anfang an gekrümmt sein, wenn sie auch im Anfang der schwachen Abweichung wegen als geradlinig erscheine. Damit ist aber offenbar die für unmöglich erklärte gemischte Bewegung wieder angenommen und wenn weiter behauptet wird, daß der Körper um so mehr an Schwere verliert, je größer die Geschwindigkeit ist, mit der er durch die Luft bewegt wird, anderseits er aber eine nach dem Verhältnis seiner Geschwindigkeit zunehmende Schwere erlangt, welche Annahme seine Wirkungen erklären soll, so sieht man sich Tartaglia in unlösbare Widersprüche verwickeln. Den Begriff des Beharrungsvermögens, dessen Spuren wir bei Lionardo bereits nachweisen konnten, hat er also noch nicht gehabt, er glaubt nur erklären zu müssen, wie die Wirkung der Schwere auf eine von der Richtung zum Zentrum abweichende Bewegung beseitigt werden kann. Dagegen hat er dem großen Florentiner in der Weise nachgeeifert, daß er auf dem Wege des Versuchs die gewonnenen Resultate zu bestätigen, neue zu erhalten suchte. So fand er, daß die größte Wurfweite bei einem Erhebungswinkel von 45° eintritt, indem er die Neigung des Laufes eines Geschützes mittels zweier Lineale bestimmte, von denen eines lotrecht aufgestellt, das andere in den Lauf gesteckt wurde. Bei diesen Versuchen bestimmte er auch den Einfluß der Ladung und Rohrlänge sowie des Gewichtes und des

---

[1]) Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes. Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft 1884, Bd. XIV, S. 384.

Durchmessers des Geschosses, seines Kalibers, wie letzterer von dem arabischen Worte für Modell Kalib genannt wird[1]). Trotzdem dürfte dem Brescianer Gelehrten nicht der hohe Rang in der Geschichte der Wissenschaft zukommen, auf den man ihn früher immer erhoben hat[2]).

Das Entgegengesetzte müssen wir von seinem Gegner Cardano behaupten, dessen Lebensschicksale wir bereits kennen gelernt haben. Seine mathematischen Kenntnisse gingen weit über die des Tartaglia hinaus und haben, da die Schriften, in denen er sie niedergelegt hat, weite Verbreitung fanden, wesentlich zur Förderung der Wissenschaft beigetragen. Ihnen ist es auch zuzuschreiben, daß die Ideen des Jordanus Nemorarius, des Nikolaus von Cusa und Lionardos da Vinci auf Stevin, Galilei und Kepler ihre Wirkungen ausüben konnten[3]), denn es ergibt sich mit aller Sicherheit, daß der Mailänder Arzt die Schriften jener des öfteren benutzt hat. Daß er bestrebt ist, die Ansichten des Aristoteles weiter fortzubilden, haben wir bei Betrachtung seiner Lehre von den Elementen gesehen. Das nämliche zeigen seine Arbeiten über mechanische Gegenstände, aber er ist vorsichtig und hütet sich wohl, nicht so weit zu gehen, daß er mit den kirchlichen Behörden in Widerspruch geraten konnte. In seiner Schrift »Opus novum de proportionibus numerorum, motuum, ponderum etc.«, sowie in seinem größten und verbreitetsten Werke »de subtilitate«[4]) verwirft er wie der Cusaner die Wirkung der Luft bei der Bewegung der Körper, ist vielmehr der Ansicht, daß der geworfene Körper durch die Kraft, die er von dem Werfenden erhalten hat, bewegt wird, daß es der erlangte Antrieb ist, der ihn bewegt, und hat so auch der endgültigen Fassung des Begriffes des Beharrungsvermögens vorgearbeitet. Da er aber anderseits der Ansicht ist, daß beim Wurfe die gewaltsame Bewegung in der Mitte größer ist als am Anfange, so glaubt er doch auf die Mithilfe der Luft nicht verzichten zu können. Seinen Zeitgenossen, die ja noch auf dem

---

[1]) Jähns, Geschichte der Kriegswissenschaften. München und Leipzig 1889, Bd. I, S. 596.

[2]) S. auch Tonni-Bazza, Frammenti di nuove ricerche intorno à Nicolò Tartaglia Atti del Congresso internationale di Scienze storiche (Roma 1903). Roma 1904. Vol. XII, S. 293.

[3]) Duhem, Les origines de la Statique. Paris 1905, S. 35.

[4]) Das lateinische Buch wurde bereits 1556 in das Französische von Richard le Blanc übertragen.

Boden der peripatetischen Lehre standen, fiel der Widerspruch, den seine Erklärungsweise enthielt, nicht auf, selbst dem so kritischen Scaliger nicht, denn auch für ihn war eine Erklärung ausreichend, wenn es ihr gelang, eine beobachtete Tatsache in den Schematismus des Aristoteles einzufügen[1]).

Außer mit der Bewegungslehre hat sich Cardano auch mit dem Problem des Hebels beschäftigt und war stolz darauf, die Lücke ausgefüllt zu haben, die Archimedes bei der Behandlung der Wage gelassen hatte. Da dieser nur den gleicharmigen Hebel untersucht hatte, war er nicht genötigt gewesen, das Gewicht der Hebelarme zu berücksichtigen, bei dem ungleicharmigen, wie ihn die römische Wage aufweist, durfte dies nicht unterbleiben, und indem es Cardano berücksichtigte, fand er, daß für einen solchen Gleichgewicht stattfinde, wenn sich die Gewichte beider Arme wie die Quadrate der Längen seiner Arme verhalten. Wichtiger als dieser sich mit Leichtigkeit ergebende Satz war die Anwendung der von Leonardo ausgesprochenen Ideen auf die aristotelische Anschauung vom Gleichgewicht zweier Kräfte am Hebel, die sich in den genannten beiden Schriften findet. Er führt aus, daß in diesem Falle bei verschiedener Neigung des Hebels gegen die Horizontale ein an seinem Ende angebrachter schwerer Körper eine um so größere bewegende Kraft entwickeln wird, je weiter er von der Vertikalen abweicht, je mehr sich also der Hebel der Horizontalen nähert. Denn wenn in dieser oder in einer beliebigen anderen Lage der schwere Körper einen Bogen von derselben Länge beschreibt, so nähert er sich dem Mittelpunkt der Erde bei horizontaler Lage des Hebels mehr als bei einer anderen, verhält sich also so, als ob er schwerer wäre. Obwohl er stets das Bestreben hat, in gerader Linie den Mittelpunkt der Erde zu erreichen, so wird er daran durch die Verbindungen, in denen er sich befindet, verhindert. Außer von seinem Gewicht hängt demnach die Kraft, mit der ein am Hebel wirkender Körper nach der Erde strebt, auch von dem Abstande ab, in dem er sich von einer durch die Drehungsachse gelegten Senkrechten befindet. So war Cardano dem Begriffe des statischen Momentes nahe genug gekommen, aber er kam nicht dazu, ihn auszusprechen oder gar allgemein anzuwenden.

Nicht anders erging es ihm mit dem Prinzip von den virtuellen Geschwindigkeiten, welches man aus dem von ihm betrachteten Falle

---

[1]) Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes. Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft 1884, Bd. 14, S. 388.

leicht ableiten kann, während Cardano diese Ableitung noch nicht vornimmt. Dazu hätte er nur seine Betrachtungen über den Flaschenzug verallgemeinern müssen. Weiß er doch, daß bei vier Rollen nur ein Viertel der durch das Gewicht eines Körpers gegebenen Kraft nötig ist, um das Gewicht zu äquilibrieren, daß bei sechs Rollen der sechste Teil genügt, daß aber dann die Kraft — er operiert, um die Wirkung erstaunlicher zu machen, mit der Kraft eines Kindes — den vierfachen oder sechsfachen Weg zurücklegen muß, wenn die Last den einfachen zurücklegt.

Hatte ihn so die Betrachtung der Bewegung des Hebels auf die der Rolle und des Flaschenzuges geführt, so wird ihm die Betrachtung des am Ende eines Hebelarmes wirkenden Gewichtes der Ausgangspunkt für die Lösung des Problemes der schiefen Ebene. Die Kraft, mit der ein Körper sein Gewicht über die schiefe Ebene hintreibt, muß ja um so größer werden, je näher ihre Neigung einem Winkel von 90° kommt. Ist dieser erreicht, so wird ihr Wert gleich der vollen Größe des Gewichtes, während er auf der horizontalen Ebene zu Null wird. Mit der Neigung nimmt er so ab, daß er bei einem Neigungswinkel α sich zu dem Gewichte des Körpers verhält wie der Winkel α zum rechten Winkel, ein Satz, der vor der bald einsetzenden Kritik eines Stevin und Galilei in dieser Form sich freilich als unhaltbar erwies.

Die Dichtigkeit des Wassers wollte er mit der Luft vergleichen, indem er zwei gleiche Kugeln in der Luft und im Wasser von solchen Höhen fallen zu lassen vorschlug, daß sie mit der nämlichen Stoßkraft am Boden ankamen. Das Verhältnis der Höhen sollte dann das der Dichtigkeiten sein. Den Versuch hat er gewiß nicht ausgeführt. Immerhin dürfte von ihm als dem ersten vorgeschlagen sein, die Dichtigkeiten der Luft und des Wassers zu vergleichen[1]). Sehen wir in diesen Fragen Cardano abhängig von Aristoteles, so gehören die mechanischen Einrichtungen, die nach ihm genannt werden, sicherlich Leonardo an. Hinsichtlich der nach ihm benannten Aufhängung haben wir dies bereits gesehen, und so wird wohl auch das aus drehbaren Ringen gebildete Vorlegschloß, das man nur öffnen und schließen kann, wenn auf den Ringen angebrachte Buchstaben durch Drehung der Ringe

---

[1]) Cardani Opus novum de proportionibus numerorum, motuum, ponderum, sonorum aliarumque rerum mensurendarum. Basileae 1570, S. 82. Vgl. Duhem, L. P. Mersenne et la pesanteur de l'air. Revue générale des sciences pures et appliquées, 1906. Jahrg. 17, S. 770.

zu einem nur dem Eingeweihten bekannten Worte vereinigt werden, auch aus früherer Zeit stammen. Das wenige, was sein Buch »de Subtilitate« über Optik enthält, ist gleichfalls nicht Cardanos Eigentum. Die Mitteilungen im vierten Buch der genannten Schrift über den Regenbogen und die Farben fassen in der Tat nur früheres zusammen. Wenn aber Scaliger[1]) darüber spottet und Cardano belehren will, wie er das Buch hätte schreiben sollen, so hat er dazu durchaus kein Recht, denn das, was er vorschlägt, war damals bereits viel veralteter als das, was Cardano bringt. Auch über die Wärmeentwicklung im Brennpunkte des Hohlspiegels hat sich dieser vernehmen lassen, aber auch da bringt er in wenig veränderten Worten nichts anderes, als was wir bei Leonardo auch finden. Die Wärme entsteht danach durch die Vereinigung der Strahlen im Brennpunkte, aber weder aus dieser Erklärung selbst noch aus den zu ihrem Verständnis herangezogenen Gleichnissen ist zu entnehmen, welche Vorstellung sich beide Männer über das Wesen der Wärme gebildet hatten. Dagegen verdankt man Cardano den Vorschlag, auf den ihn wohl seine ärztliche Praxis führte, kleine Zeitteilchen mittels Zählung der Pulsschläge zu messen, ein Verfahren, das vor der Erfindung der Pendeluhr überaus zweckmäßig war und auch noch von Galilei mit Nutzen verwendet wurde.

Viel entschiedener als Cardano wendet sich Giovanni Baptista Benedetti, lateinisch Benedictus, in seinem 1585 in Turin erschienenen Hauptwerk »Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber« gegen die Lehren des Aristoteles. Benedetti war 1530 zu Venedig geboren, hatte unter Tartaglias Leitung die vier ersten Bücher des Eukleides gelesen, sich im übrigen aber selbst ausgebildet. Seine außergewöhnlichen Anlagen ließen ihn dies mit solchem Erfolge tun, daß er in seiner im Alter von 23 Jahren verfaßten Erstlingsschrift »De resolutione omnium Euclidis problematum aliorumque una tantum modo circuli data apertura« (Über die Lösung aller Aufgaben Euklids und anderer mit Hilfe einer einzigen Zirkelöffnung), der in Italien seit der Mitte des 16. Jahrhunderts vielfach ausgebildeten, bereits erwähnten Liebhaberei folgend, es fertig brachte, alle in des Eukleides Elementen

---

[1]) J. C. Scaligeri de subtilitate ad Cardanum exercitationes. Francofurti 1607, S. 365.

vorkommenden Aufgaben in der genannten bemerkenswert selbständigen Weise zu lösen. Auch die geometrische Auflösung und Darstellung von Gleichungen zog er in den Bereich seiner Untersuchungen, und seine Arbeit erregte ein solches Aufsehen, daß sie ihm die Stellung eines Mathematikers des Herzogs Karl Emmanuel von Savoyen verschaffte, als welcher er 1590 in Turin gestorben ist[1]).

Benedetti hatte keine geringe Meinung von sich, aber er konnte auch auf seine Werke stolz sein. So betont er in der Vorrede seines Buches über verschiedene mathematische und physikalische Ideen, daß er es ganz selbständig bearbeitet habe. Wo etwa die Meinungen anderer aufgenommen seien, da habe er sie abgeändert oder zu größerer Klarheit gebracht. Sollte sich bei anderen Schriftstellern ähnliches finden, wie sein Buch enthalte, so könne es sich dabei nur um Dinge handeln, die ihm unbekannt geblieben seien oder die er vollständig wieder vergessen gehabt habe. Und noch entschiedener betont er in betreff des von der Mechanik (De Mechanicis) handelnden Teil seines Buches seine Selbständigkeit, wenn er sagt[2]): „Wohl aber möchte ich gerade auf diesem Gebiete die Spur meiner Erdentage hinterlassen." Dies gilt nun freilich weniger von der Statik, wo Benedetti sich abhängig von Nemorarius und Leonardo da Vinci zeigt, wohl aber in der Dynamik, in der er die aristotelischen Anschauungen gänzlich beseitigte. Doch aber hat er auch in jener die Kenntnisse seiner Zeit allgemein gefaßt und nach dem Urteile Dührings[3]) die Grundlage der gegenwärtigen Theorie der Momente gegeben, indem er sich dahin ausspricht, „daß die Größe eines beliebigen Gewichtes oder die bewegende Kraft (virtus movens) in Beziehung auf eine andere Größe durch den Nutzen (beneficio) der Senkrechten erkannt werde, die vom Mittelpunkt der Wage auf die Linie der Neigung gezogen werde"[4]).

Bei seiner Behandlung dynamischer Probleme hat Benedetti die Überzeugung Leonardos zu der seinigen gemacht, daß in der

---

[1]) Libri, Histoire des Sciences mathematiques en Italie. Paris 1837 bis 1841, Bd. III, S. 258 ff. Vgl. Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. II. Bd. 2. Aufl. Leipzig 1900, S. 565 ff.

[2]) Atque vel hoc uno modo me inter humanos vixisse testatum reliquerim. Benedetti, Diversarum speculationum etc., S. 141. De mechanicis.

[3]) Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik. 3. Aufl. Leipzig 1887, S. 16.

[4]) Benedetti a. a. O., S. 143.

Physik nur die Anwendbarkeit der Mathematik Gewißheit gebe. In der Zurückweisung der aristotelischen Behauptung, daß auf einer begrenzten geraden Linie eine kontinuierlich hin- und hergehende Bewegung unmöglich sei, da ja an den Umkehrpunkten immer ein Augenblick der Ruhe eintreten müsse, sieht Cantor[1]) den Beweis dafür, daß die Mechanik beginne, ein Kapitel der Mathematik zu werden. In der Tat ist die angewandte Methode von grundlegender Bedeutung und leistet das wirklich, was Nikolaus von Cusa bereits angestrebt aber nicht erreicht hatte[2]). Hat sie doch in neuerer Zeit Viktor Pierre benutzt, um in elementarer Weise die Pendelgesetze herzuleiten. Benedetti läßt sich einen Punkt im Kreise mit unveränderlicher Geschwindigkeit bewegen und entwirft die Zentralprojektion des Kreises auf eine in der Ebene des Kreises liegende Gerade, von der sie demnach eine begrenzte Strecke gibt. Die Projektion des Punktes wird dann die Linie hin- und hergehend durchlaufen und an den Wendepunkten scheinbar zum Stillstand kommen. Doch aber bleibt auch hier noch das Kennzeichen der Bewegung, nämlich die gegenseitige Abhängigkeit von Raum und Zeit, auch wenn beide Größen unendlich klein geworden sind, und so liegt, wie Laßwitz[3]) hervorhebt, „Benedettis Gedankengang genau auf dem Wege, welcher auf der einen Seite zur wissenschaftlichen Begründung der Bewegungslehre, auf der anderen zur Entdeckung der Differentialrechnung führt". Daß bei einer Bewegung die Geschwindigkeit bis ins Unendliche abnehmen kann, zeigt der Turiner Mathematiker in ähnlicher Weise. Er läßt einen Punkt eine gerade Linie mit einer gewissen Geschwindigkeit durchlaufen, errichtet in einem beliebigen Punkte eine Senkrechte auf ihr und denkt sich von jeder Lage des beweglichen Punktes zu einem jenseits der Senkrechten gelegenen festen gerade Linien gezogen. Der Durchschnittspunkt dieser Strahlen mit der Senkrechten wird sich dann einer Grenze, die durch den Abstand des festen Punktes von der Geraden gegeben ist, fortwährend nähern, sie aber nie erreichen, die Entfernung des beweglichen Punktes mag so groß werden wie sie will.

---

[1]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. 2. Bd. 2. Aufl. Leipzig 1900, S. 570.

[2]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik. 2. Bd. Hamburg und Leipzig 1890, S. 14.

[3]) Laßwitz a. a. O., 2. Bd., S. 16.

Während Tartaglia und Bernardino Telesio die beschleunigte Bewegung eines fallenden Körpers durch Beispiele, die sie im menschlichen Leben finden, erklären zu können meinen, ohne daran Anstoß zu nehmen, daß sie damit dem fallenden Steine eine Beseelung zuschreiben müssen, während Cardano den von Aristoteles angenommenen Antrieb des bewegten Körpers durch die Luft nicht ganz entbehren zu können glaubt, tritt auch in dieser Frage Benedetti dem Stagiriten mit aller Entschiedenheit entgegen und macht für die Geschwindigkeit der Bewegung „eine gewisse natürliche Impression infolge des empfangenen Antriebs"[1]) verantwortlich. Eine Luftbewegung, die einträte, um das Entstehen eines leeren Raumes zu verhindern, könne ja die Bewegung des Körpers nicht erhalten oder beschleunigen, sondern müsse sie vielmehr hemmen, und der Körper falle nicht deshalb schneller, weil er sich seinem Ziele, nämlich seinem ihm eigentümlichen Orte, nähere, sondern weil er sich von dem Ausgangspunkt seiner Bewegung mehr entferne. Da die Ursache der Bewegung in ihm sich befindet, so wird die Impression immer größer, und dadurch wächst seine Geschwindigkeit, eine Auffassung, die darauf hinauskommt, die gewaltsame und natürliche Bewegung als solche aufzufassen, die durch eine einmal und durch eine fortdauernd wirkende Ursache hervorgerufen werden. Wenn aber der durch die Schleuder geworfene Körper viel weiter fliege als der durch die Hand in Bewegung gesetzte, so sei die richtige Erklärung dafür nicht die durch die Peripatetiker gegebene, daß das Bewegte leichter bewegt wird als das Ruhende, sondern es sei der durch die Zahl der Umdrehungen der Schleuder zur Bewegung des Körpers gewonnene Antrieb größer als der ihm beim Wurfe aus freier Hand erteilte.

Durch die Betrachtung der Wirkungsweise der Schleuder wird dann Benedetti zur Untersuchung der Bewegung von Körpern geführt, welche sich rasch im Kreise bewegen. Aus der Annahme, die man bei ihm wohl als dem ersten ausgesprochen findet, daß jeder in Bewegung begriffene Körper das Bestreben habe, in gerader Linie fortzugehen, was sich ja daraus ergebe, daß die abgeschossenen Kugeln ein um so größeres Bestreben haben, in gerader Linie fortzugehen, je

---

[1]) A quadam naturali impressione ex impetuositate recepta a dicto mobili. Benedetti, Speculationum liber. Taurini 1585. S. 184. — S. wegen des folgenden Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes. Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft, 1884, 14. Bd., S. 389.

schneller sie sind, erklärt er das Bestreben von Körpern, welche im Kreise geschwungen werden, in der Richtung der Tangente zu entweichen, oder Teile in dieser Richtung abzuschleudern, und sieht in der Spannung des Seiles der Schleuder oder des Zuges, den die Hand des Schleudernden empfindet, den Grund dafür, daß der bewegte Körper nicht in gerader Linie davon fliegt. Da nun aber alle Teile des sich im Kreise bewegenden Körpers dieselbe Neigung, in der Richtung der Tangente fortzufliegen haben, so werden sie den sie daran hindernden übrigen Teilen widerstehen und deshalb wird auch, im Gegensatz zu der Ansicht der Peripatetiker, der sich im Kreise bewegende Körper endlich zur Ruhe kommen, wenn die Ursache der Bewegung aufhört, um so langsamer freilich, je weiter sich die Teilchen, wie die des Umfanges eines Rades von großem Durchmesser vom Drehungsmittelpunkte befinden, weil ihre Bewegung der geradlinigen näher kommt. Auf der nach der Tangente gerichteten Bewegung seiner Teilchen beruht die Eigenschaft des sich rasch drehenden Kreisels, auf seiner Spitze aufrecht stehen zu bleiben. Ihres Strebens nach dem Zentrum der Welt, wir würden sagen ihrer Schwere, sind die Teilchen deshalb doch nicht entrückt, was sich darin zeigt, daß der Kreisel sich auf den Endpunkt seiner Spitze stützt, allerdings um so weniger stark, je rascher er sich dreht, und auch die Priorität der Erklärung der Kreiselbewegung nimmt er ausdrücklich für sich in Anspruch.

Obwohl nun Benedetti das gefundene Prinzip ganz allgemein dahin ausspricht, daß „ein jeder schwere Körper, gleichviel ob er durch Natur oder durch Gewalt bewegt ist, naturgemäß die Geradlinigkeit des Weges erstrebt“[1]), obwohl er die Krümmung der Bahn des geworfenen Körpers aus dem Umstande erklärt, daß er von zwei Kräften, dem „eingeprägten Antrieb“ und der „Natur“, bewegt wird, so kann er sich doch von der Ansicht noch nicht losmachen, daß jene erste Kraft naturgemäß, also nicht durch den Widerstand des vom geworfenen Körper durcheilten Mittels abnimmt, und so liegt es ihm auch fern, sich Rechenschaft über die Form der Wurfbahn zu geben. Vielmehr hält er fest, daß die Schwere nur wegen der Abnahme des eingeprägten Antriebes ihre Wirkung auf den geworfenen Körper ausüben könne. Den Grund dafür sieht Wohlwill[2]) wohl mit Recht in der An-

[1]) Quod vis grave corpus, aut per naturam, aut per vim motum, rectitudinem itineris naturaliter appetit. Benedetti a. a. O., S. 287.

[2]) Wohlwill a. a. O., S. 395.

schauung, daß der eingeprägte Antrieb, die vis impressa als eine Kraft aufgefaßt wurde und nicht als eine natürliche Eigenschaft der Körper, als welche wir deren Trägheit jetzt auffassen. So hielt auch Benedetti es für nicht unmöglich, daß die Geschwindigkeit der Geschützkugel, welche den Lauf verlassen habe, in einer gewissen Entfernung größer sei, als beim Austritt aus dem Laufe, wenn er auch an der Sache selbst Zweifel hegt.

Auch mit dem Gleichgewicht der Flüssigkeiten hat er sich beschäftigt und bereits 1585 das Prinzip ausgesprochen, auf dem die hydraulische oder richtiger die Reaalsche Presse beruht[1]). Denn indem er die Druckverhältnisse einer Flüssigkeit in einem kommunizierenden Rohre mit einem weiten und einem sehr engen Schenkel betrachtet, sie in dem ersteren aber nur mit einem Kolben bedeckt denkt, bestimmt er den Druck, den eine in dem letzteren über die Gleichgewichtslage der Spiegel aufgegossene Flüssigkeit ausübt, es fehlt ihm also der kleinere Kolben der hydraulischen Presse. Der Versuch selbst war ihm der Beweis für die Richtigkeit eines, wenn auch nur für den einzelnen Fall geltenden Prinzips[2]).

Neben Benedetti ist Guido Ubaldo, Marchese del Monte (lat. Montis) nur deshalb zu erwähnen, weil sein 1577 in seinem Geburtsort Pesare erschienenes Werk über Mechanik (Mechanicorum liber), welches 1615 zum zweiten Male in Venedig herausgegeben wurde, eine ungemein große Verbreitung gefunden hat. Sie hatte es nicht zum wenigsten dem Umstand zu verdanken, daß es den Werken der Alten die verdiente Anerkennung zuteil werden ließ. Auf dieses Werk hin sind ihm aber eine Reihe von Entdeckungen zugeschrieben worden, die ihm keineswegs gehören, da sie längst anderen vor ihm gelungen waren. Von solchen sei hier nur die Anwendung des Prinzips der virtuellen Geschwindigkeiten beim Hebel und beim Flaschenzug erwähnt, weil ihm dessen Entdeckung Lagrange[3]) zuschreibt und er auf die Autorität des großen Mathematikers hin lange Zeit diesen Ruhm genoß. Zudem richteten sich bei der hohen Lebensstellung, die er einnahm, viele Blicke mit Ehrfurcht auf ihn und seine Werke. Er

[1]) Benedetti, Diversarum speculationum liber. Taurini 1585.

[2]) Duhem, Le Principe de Pascal. Revue générale des Sciences pures et appliquées 1905. 16. Jahrg. S. 599 ff.

[3]) Lagrange, Mécanique analytique, Part. I, Sect. 1. Sur les différents principes de la Statique, art. 4.

wurde 1545 geboren, kämpfte gegen die Türken und wurde nach seiner Rückkehr nach Italien 1588 Generalinspekteur der Festungen Toskanas, als welcher er 1607 gestorben ist. Obwohl Duhem [1]) seinen Werken vorwirft, daß ihr Inhalt oft fehlerhaft, immer mittelmäßig sei und der Hauptsache nach nur Gedanken Leonardos und Tartaglias verwerte, so widmet er um des obigen Umstandes willen ihm doch ein ganzes Kapitel seines oft zitierten Werkes. Das aber soll dem Marchese nicht vergessen sein, daß er sich des jungen, mit mancherlei Schwierigkeiten ringenden Galileis annahm, wofür ihm dieser stets eine dankbare Erinnerung bewahrte.

III. Die Physik in der neueren Zeit.

1. Das Zeitalter der Entdeckungen auf physikalischem Gebiet unter dem vorwiegenden Einfluß Galileis.

a) Die Forschungsmethode der neueren Zeit.

Die politische Geschichte der Staaten läßt sich leicht in Unterabteilungen fassen, Anfang und Ende großer Kriege, das Auftreten machtvoller Herrscher drückt kleineren oder größeren Zeiträumen einen bestimmten Stempel und dem Staatsleben ein besonderes Gepräge auf, das es von anderen Zeiträumen gut unterscheiden läßt. Andere Verhältnisse zeigt die Kulturgeschichte eines Volkes, zeigt die Geschichte der allen Kulturvölkern gemeinsamen Wissenschaft. Da gehen die besonderen Anschauungen eines Zeitraumes langsam und unmerklich in die des folgenden über, lange bestehen die früheren neben den neueren fort, und von einer scharfen Grenze beider kann nicht die Rede sein. Gleichwohl erfordert die Übersichtlichkeit, auch hier die geschichtliche Darstellung in Abschnitte zu teilen, und so bleibt nichts übrig, als den vorwiegenden Charakter der wissenschaftlichen Tätigkeit der einzelnen Forscher der Einteilung zugrunde zu legen.

Daß sich die neuere Zeit von der alten und dem Mittelalter durch die Verwertung des Experiments und der Beobachtung unterscheidet, wurde bereits mehrfach hervorgehoben. Die Alten experimentierten und beobachteten auch in ausgedehnter Weise, aber es fehlte ihnen die Methode, mit Sicherheit hierbei das Wesentliche vom Zufälligen

[1]) Duhem, Les origines de la Statique. Bd. I. Paris 1905, S. 226.

zu sondern, und so war es bei ihrer Art der Forschung mehr oder weniger Glücksache, ob sie auf haltbare Ergebnisse kamen oder Folgerungen zogen, die sehr bald wieder aufgegeben werden mußten. Dazu kam im Altertum die Neigung, alle naturwissenschaftlichen Forschungen mit vorgefaßten philosophischen Ideen, im Mittelalter mit den religiösen Glaubenssätzen in Übereinstimmung zu halten, und so waren der Forschung von vornherein die hemmendsten Fesseln angelegt. Diese wurden erst nach und nach abgeworfen, trotzdem die kirchliche Autorität die Geister darin zu halten suchte, soweit ihre Macht reichte, die freilich in den protestantischen Ländern gebrochen wurde. So sehen wir vorwiegend in diesen in der Wende des 16. und im 17. Jahrhundert die Männer auftreten, die die Naturwissenschaft in bis dahin ungeahnter Weise förderten.

Ihre Methode ist aber insofern eine andere geworden, als die Forschung durchaus von der Erfahrung auszugehen sich bestrebt. Dazu stellt sie nicht nur zur Erklärung einzelner Erscheinungen Versuche an, sie benutzt auch instinktive Erkenntnisse, die an deren Stelle treten, Divinationen, wie man sie auch genannt findet, wie sie auch der moderne Forscher keineswegs entbehren kann. Über die Art, wie sie entstehen, spricht sich Mach [1]) folgendermaßen aus: „Was wir an der Natur beobachten, prägt sich auch unverstanden und unanalysiert in unsern Vorstellungen aus, welche dann in den allgemeinsten und stärksten Zügen die Naturvorgänge nachahmen. Wir besitzen nun in diesen Erfahrungen einen Schatz, der immer bei der Hand ist, und von welchem nur der kleinste Teil in den klaren Gedankenreihen enthalten ist. Der Umstand, daß wir diese Erfahrungen leichter verwenden können als die Natur selbst, und daß sie doch im angedeuteten Sinn frei von Subjektivität sind, verleiht ihnen einen hohen Wert.“ Und zwei Seiten vorher lesen wir: „Diese Überzeugung hat eine solch logische Gewalt, daß wir die aus ihr gezogene Folgerung ... ohne Widerrede annehmen, während uns das Gesetz als bloßes Ergebnis des Versuches oder auf eine andere Art dargelegt, zweifelhaft erscheinen würde. Dies kann uns nicht befremden, wenn wir bedenken, daß jedes Versuchsergebnis durch fremdartige Umstände (Reibung) getrübt und jede Vermutung über die maßgebenden Umstände dem Irrtum ausgesetzt ist.“ Freilich kann der Forscher das Experiment auch dann nicht entbehren, sei es, daß er selbst,

---

[1]) Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung. 5. Auflage. Leipzig 1904, S. 30.

sei es, daß andere nach ihm die Divination auf ihre Richtigkeit prüfen, denn der Instinkt ist nicht unfehlbar, und es ist unter Umständen nicht ausgeschlossen, daß er sich auf falscher Fährte befindet. Es versteht sich von selbst, daß der Instinkt nur bei solchen Forschern zu richtigen Ergebnissen führen kann, die über eine große Summe Einzelerfahrungen verfügen, wird er von Laien in Tätigkeit gebracht, so zeitigt er die sonderbarsten Blüten; die immer wieder aus der Rumpelkammer des Aberglaubens hervorgeholte Wünschelrute, die schon Agricola in seiner 1530 erschienenen »De re metallica« betitelten ersten Bergbaukunde zurückweist, das Tischrücken, der tierische Magnetismus sind bezeichnende Beispiele dafür, die bis in die neueste Zeit hereinreichen. Sie beweisen aber auch, worauf Mach[1]) aufmerksam macht, daß dieser Instinkt vorwiegend negativer Natur sein muß. „Wir können nicht sowohl sagen," meint er, „was vorkommen muß, als vielmehr nur, was nicht vorkommen kann, weil nur letzteres mit der unklaren Erfahrungsmasse, in welcher man das einzelne nicht unterscheidet, in grellem Gegensatz steht." Indem er uns aber so vor Irrwegen bewahrt, läßt der Instinkt uns den rechten Weg finden, und deshalb erregten Entdeckungen, wie die der Röntgenstrahlen oder der Radioaktivität, bis zu welchen dieser Instinkt nicht hinreichen konnte, das jedes Maß überschreitende Aufsehen, hatten aber zur Folge, daß nun der Laie nichts mehr für unmöglich hielt, und gerade auf diese Entdeckungen berufen sich ja die Anhänger der Wünschelrute, ohne daß man sie, denen eben jener wissenschaftliche Instinkt fehlt, eines Besseren belehren könnte.

So ist dieser Instinkt eine notwendige Vorbedingung zur Nutzbarmachung der sokratischen induktiven Methode in den Wissenschaften, die ihr ihren Namen verdanken. Er leitet dazu an, die möglichen Hypothesen aufzustellen, die eine beobachtete Erscheinung auf ihr Wesen zurückzuführen gestatten. Und in nicht wenigen Fällen ahnt der Beobachter das Ergebnis, das seine Versuche haben werden. „Er riecht die Wahrheit," pflegte der ältere Kohlrausch dies zu nennen, welchen drastischen Ausdruck uns, wenn ich mich recht erinnere, Tyndall aufbewahrt hat. Mach[1]) aber meint wohl dasselbe, wenn er sagt: „Ein jeder Experimentator kann täglich an sich beobachten, wie er durch instinktive Erkenntnisse geleitet wird. Gelingt es ihm, begriff-

---

[1]) Mach a. a. O., S. 30.
[1]) Mach a. a. O., S. 29.

sich zu formulieren, was in denselben liegt, so hat er in der Regel einen erheblichen Fortschritt gemacht.“ Hat nun aber auch die Induktion das erwünschte Ergebnis gehabt, ist das gesuchte Gesetz gefunden, so muß es so ausführlich wie möglich geprüft werden, indem von neuem Versuche angestellt werden, die es bis in seine Einzelheiten bestätigen. Das Gesetz gibt die Abhängigkeit einer oder mehrerer Größen von einer unabhängigen, man gibt dieser die verschiedensten Werte und überzeugt sich, daß die für diese bestimmten abhängigen dem Gesetze folgen, man schließt an die Induktion die Deduktion an, und erst wenn diese für eine genügende Anzahl Werte das Gesetz bestätigt hat, ist man berechtigt, es anzunehmen.

Mit der fortschreitenden Wissenschaft steigen aber ihre Anforderungen an die Genauigkeit der Beobachtungen. Für eine solche immer wachsende mußte also immer mehr Sorge getragen werden. Anfangs begnügte man sich mit mäßiger Genauigkeit, die mechanische Kunst konnte nicht immer gleichen Schritt mit der vordringenden Erkenntnis halten. Da blieb nichts anderes übrig, als die verwendeten Apparate auf ihre Güte zu prüfen, die Größe der Fehler zu bestimmen, die man bei ihrer Benutzung zu erwarten hatte, und sich so zu versichern, inwieweit das Ergebnis des Versuches, welches man erhalten hatte, auf Zuverlässigkeit Anspruch machen konnte, man mußte Methoden ausarbeiten, welche diese Fehler zu bestimmen erlaubten. Mit der wachsenden Leistungsfähigkeit der mechanischen Werkstätten aber konnte man die Zuverlässigkeit der Versuchsergebnisse auch dadurch vergrößern, daß man die Apparate verbesserte. Diesen Weg hat man je länger je mehr eingeschlagen.

So hat sich die Naturwissenschaft Methoden und Apparate geschaffen, die die Dauer ihres Fortschrittes verbürgen und die Sicherheit gewähren, falsche Bahnen nie lange einhalten zu müssen. Zu erkennen, ob ein von uns auf naturwissenschaftlichem Gebiete gefundener Wert dem wahren Werte der betreffenden Größe entspricht, vermögen wir freilich nicht, da wie auch auf philosophischem und religiösem Gebiet uns dafür jedes Kriterium fehlt, aber die exakte Forschung hat das vor den Untersuchungen auf den letztgenannten Gebieten voraus, daß sie durch wiederholte, zweckmäßig ausgeführte Arbeiten sicher sein kann, sich der Erkenntnis der wahren Werte immer mehr zu nähern.

Indem wir uns nun zu der Betrachtung der Werke der Männer wenden, welche von der Morgenröte des Tagens moderner Wissenschaft

beschienen werden, kann es uns nicht verwundern, wenn sie deren charakteristische Eigenschaften nicht immer erkennen lassen. Sind sie es ja gewesen, die die Wandlung in der Wissenschaft bedingten, indem sie diese Wandlung in sich selbst vornahmen. So werden ihre frühesten Werke noch scholastische Anschauungen aufweisen, die ihre späteren überwunden haben. Aber wir werden auch in dieser Zeit noch Männer finden, die in diesen Anschauungen blieben, welche die katholische Kirche, wie wir bereits betont haben, in ihren Lehren bis zum heutigen Tage noch festhält. So begegnen wir auch in der Folgezeit als Entdeckern physikalischer Erscheinungen gelehrten Jesuiten, die freilich in dem Kampfe, der sich alsbald zwischen Kirche und Naturwissenschaft entspann, auf kirchlicher Seite zu finden waren, wenn sie auch auf dem Gebiete der Einzelforschung Anerkennenswertes geleistet haben.

b) Die Statik. Stevin.

Während die italienischen Forscher, den Spuren des Aristoteles folgend, sich der Dynamik zugewendet und sie, manchen unhaltbaren Ausspruch des Stagiriten abändernd, nicht wenig gefördert hatten, so trat in dem Niederländer Simon Stevin[1]) ein Forscher auf, der sich den Archimedes zum Muster nahm, aber, indem er über ihn hinausging, die moderne Statik schuf. Stevinus oder Stevens war 1548 in Brügge geboren und hatte seine Laufbahn als Steuerbeamter in seiner Vaterstadt begonnen, hatte aber 1571 sein Amt niedergelegt und sich, nachdem er Deutschland, Polen und Schweden bereist hatte, in Leiden 1581 niedergelassen, war als Student an der dortigen Universität eingeschrieben gewesen, siedelte aber dann nach Delft, später in den Haag über, wo er als Oberaufseher der Land- und Wasserbauwerke Hollands und als Generalquartiermeister der holländischen Armee 1620 starb. Die in seiner 1699 erschienenen »Havenvinding« gegebene Zusammenstellung der Deklinationen verschiedener Orte zu seiner Zeit haben wir bereits früher mitzuteilen Gelegenheit gehabt. Hier haben wir uns mit seinen beiden Hauptwerken zu beschäftigen, die 1586 in Leiden erschienen, die die Statik behandelnden »Beghinselen der Weeghkonst« « (Anfangsgründe der Kunst, zu wiegen) und die der Hydrostatik gewidmeten »Beghinseln des Waterwichts«(Anfangsgründe des Wasserdrucks). Eine erste mathematische Schrift, die er in französischer Sprache

---

[1]) Sprich Stevein.

veröffentlichte, ausgenommen, hat er sich in seinen Werken des Holländischen bedient, da er glaubte, daß der Gebrauch der Muttersprache es einer größeren Zahl dazu Berufener ermöglichen würde, durch Mitteilung ihrer Erfahrungen an dem Fortschritte der Wissenschaften mitzuarbeiten. Dazu aber war die Zeit noch nicht gekommen, und sein Vorgehen hatte nur die wenig erfreuliche Folge, daß seine Werke viel später bekannt wurden, als sie es verdienten. Daß die neuen Worte, die er für dem damaligen Holländischen fehlenden Kunstausdrücke bildete, wieder verschwunden sind, bedeutet freilich keinen großen Verlust, bedauerlicher ist es, daß sein zweckmäßiger Vorschlag, bei Maß, Gewicht und Geld die Dezimaleinteilung einzuführen, gänzlich unbeachtet blieb. In den Jahren 1605 bis 1608 veröffentlichte Stevin seine gesammelten mathematischen Schriften zu Leiden ebenfalls in holländischer Sprache unter dem Titel: »Wisconstighe Ghedachtissen«, die dann in demselben Jahr in einer von Snellius besorgten lateinischen Ausgabe unter dem Titel »Hypomnemata mathematica«, 1634 in der französischen Übersetzung des holländischen Mathematikers Albert Girard als Oeuvres mathématiques de Simon Stevin erschienen.

Duhem[1]) möchte bei seiner Neigung, die Leistungen der Gelehrten des spätern Mittelalters soviel wie möglich auf die Arbeiten des Nemorarius und anderer Gelehrten des früheren Mittelalters zurückzuführen, auch die Selbständigkeit Stevins in Zweifel ziehen, und beruft sich dazu auf die in jener Zeit herrschende Gewohnheit, auch bei Gedanken und Lehren, die von andern übernommen wurde, deren Urheber nicht anzugeben. Bei Stevin möchte dieser Zweifel aber doch gegenstandslos sein, denn, wenn er auch Sätze aufstellt, die bereits Archimedes kannte, so ist deren Ableitung doch so neu und eigenartig, daß seine Originalität unbedingt anerkannt werden muß. Prüfen wir dies zunächst an seiner Behandlung des Problems der schiefen Ebene das er seinen weiteren statischen Untersuchungen zugrunde legt.

Um es zu lösen[2]) denkt er sich ein Dreieck mit nach oben gerichteter Spitze und horizontaler Basis und zwei Seiten, von denen die eine doppelt so groß, wie die andere ist. Um dieses denkt er sich weiter eine Schnur ohne Ende gelegt, an welcher sich in solchen Abständen Kugeln

---

[1]) Duhem a. a. O., S. 279 ff. Vgl. auch Compt. rend. 1906, Bd. 143, S. 946.

[2]) Stevini Hypomnemata mathematica. Lugodini Batavorum 1605. S. 34 ff.

befinden, daß auf der kürzeren Seitenfläche des Prismas zwei, auf der längern vier ruhen, während sich acht weitere an dem schlaff herabhängenden Teile der Schnur befinden. Entweder befinden sich nun die Kugeln im Gleichgewicht, so bleibt die Schnur in Ruhe, oder aber sie sind nicht im Gleichgewicht, dann müßte die Schnur in dauernde Bewegung kommen, was anzunehmen widersinnig wäre. Die zwei Kugeln auf der kürzeren Seite des Prismas müssen also die vier auf der längeren im Gleichgewicht halten, denn sonst müßte die Schnur sich fortwährend an den beiden Prismenseiten hin bewegen. Die »Sacoma« (nach dem von Stevin gebildeten Worte für wahrnehmbares Gewicht) einer der Kugeln auf der längern Fläche muß also gleich der Hälfte der »Antisacoma« einer der Kugeln auf der kürzeren Fläche sein. Nimmt man nun statt der beiden durch die Prismenseiten gebildeten nur eine schiefe Ebene und befestigt einen darauf gebrachten Körper an eine Schnur, die der schiefen Ebene parallel über eine Rolle gelegt ist und an ihrem andern Ende ein Gewicht von solcher Größe trägt, daß es den Körper gerade auf der schiefen Ebene festhält, so muß sich dieses Gewicht zur »Sacoma« des Körpers verhalten, wie die Länge der schiefen Ebene zu deren Höhe. Allgemein läßt sich dies auch durch ein von drei Kräften gebildetes Dreieck darstellen, von dem zwei Seiten senkrecht auf der Höhe und der Basis der schiefen Ebene stehen, während die dritte, d. i. der Zug des Seiles, deren Länge parallel ist. So rührt die jetzige Art der Behandlung der schiefen Ebene von Stevin her. Sie führt ihn aber auch ohne weiteres auf den Satz vom Parallelogramm der Kräfte. Um dieses zu erhalten, braucht er nur die die Kräfte darstellenden Linien durch Schnüre zu ersetzen, welche über Rollen geleitet und mit den betreffenden Gewichten beschwert werden. Ist das aber geschehen, so kann er die schiefe Ebene ganz wegnehmen und erhält so ein Mittel, die Richtigkeit des Satzes vom Parallelogramm der Kräfte in der nämlichen Art zu beweisen, wie dies auch jetzt noch in den Vorlesungen für Experimentalphysik üblich ist. Bei diesen einfachen Fällen aber bleibt Stevin nicht stehen, sondern benutzt eine ihm ganz eigentümliche Methode auch zur Lösung recht komplizierter Aufgaben über die Spannungen in einem System miteinander verbundener Schnüre, welche durch Gewichte hervorgebracht werden, die an den Verbindungsstellen dieser Schnüre wirken.

So wird ihm das Prinzip, das er eigentlich nicht bewiesen, sondern instinktiv wie einen mathematischen Grundsatz gefunden hat, zum Aus-

gangspunkt der Lösung recht schwieriger Aufgaben. Wie hoch, aber auch wie richtig er den Weg, der ihn zur Aufstellung des Gesetzes der schiefen Ebene führte, einschätzte, beweist das Titelblatt seines Buches, das die schiefe Ebene mit der rosenkranzartigen Schnur ohne Ende zeigt, mit der Umschrift: »Wonder en is gheen wonder«, d. i. ein Wunder und ist doch kein Wunder!

Auch hinsichtlich des Hebelgesetzes befriedigte ihn der Weg, den die Peripatetiker zu seiner Aufstellung eingeschlagen hatten, nicht. Er verwarf die auf der Anwendung des Prinzipes der virtuellen Verschiebungen, wenn auch nur in seinen Anfängen, beruhende, dynamische Erklärung, da er nicht gelten lassen wollte, daß die Ursache des Gleichgewichtes am Hebel in den Bögen liegen sollten, die seine Endpunkte beschrieben. Deshalb schlug er einen sich an Archimedes anschließenden Weg ein, den später Galilei annahm, indem er ihn vervollkommnete. Stevin denkt[1]) sich einen geraden Zylinder in seinem Schwerpunkt aufgehängt, so daß er mit horizontaler Achse im Gleichgewichte schwebt. Durch einen beliebigen, zur Achse senkrechten, seitlich vom Aufhängepunkt gelegten Schnitt denkt er sich nun den Zylinder in zwei geteilt und jeden derselben durch zwei Gewichte ersetzt, die in ihren gleichfalls in der Achse liegenden Schwerpunkten angreifen. Dann muß das Gleichgewicht bestehen bleiben. Da aber diese ungleichen Gewichte sich umgekehrt verhalten müssen, wie ihre Abstände vom Aufhängepunkte, so ergibt sich so unmittelbar das Hebelgesetz. Daß er dann auch die Rolle und den Flaschenzug auf dieses Gesetz zurückführte, ist ihm nicht als besonderes Verdienst anzurechnen. Wir haben gesehen, daß dies andere, namentlich Leonardo da Vinci vor ihm taten, und es ist wohl möglich, daß er davon Kenntnis hatte. Diese Aufstellungen konnten also nicht die Eigenartigkeit seiner Beweise für die Gesetze der schiefen Ebene und des Hebels erreichen. Ebensowenig teilte Stevin die Ansicht des Aristoteles über den freien Fall, wonach der schwerere Körper rascher als der leichtere fallen sollte. „Nehmet," sagt er[2]), „wie der Professor Jan Cornets de Groot und ich es getan haben, zwei Bleikugeln, die eine zehnmal größer und schwerer als die andere, und lasset sie von einer Höhe von 30 Fuß auf eine Platte oder einen andern Gegenstand fallen, auf den aufschlagend sie einen genügend

---

[1]) Stevinus a. a. O., S. 12.

[2]) Stevinus a. a. O., S. 66.

lauten Klang geben, so wird sich zeigen, daß sie zugleich auf die Platte auffallen, so daß die beiden Klänge wie ein einziger zu sein scheinen."

Der Ableitung des Hebelgesetzes stellen sich die von Stevin aufgestellten Gleichgewichtsbedingungen bei Flüssigkeiten an die Seite, die er auch aus der vorausgesetzten Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile herleitet. An die Stelle eines jeden Teiles einer in einem größeren Gefäß befindlichen Wassermenge würde ja, falls er sinken würde, sich sogleich eine andere Wassermenge begeben, die dann ebenso in die nämliche Bewegung nach unten geraten müßte. Es müßte also eine ununterbrochene Bewegung entstehen, was aber unmöglich, weil jeder Erfahrung widersprechend ist. Neben dieser bereits bei Aufstellung des Gesetzes der schiefen Ebene angewendeten Verfahrungsweise führt er aber zum Nachweis der übrigen Eigenschaften einer ruhenden Flüssigkeit eine weitere ein, die seitdem Bürgerrecht in der Physik erhalten hat. Er denkt sich die Oberfläche oder einen Teil der Flüssigkeit erstarrt und kann dann die an ihm wirkenden Drucke leicht erhalten. So gelingt es ihm, die Richtigkeit des archimedischen Prinzips zu erweisen und den unter dem Namen des hydrostatischen Paradoxons bekannten Satz zu erhalten, wonach der Bodendruck nur von der Größe der Bodenfläche und der Höhe des Flüssigkeitsspiegels über ihr, nicht aber von der Form des Gefäßes abhängt. Doch beschreibt er auch Versuche, mit deren Hilfe er diese Sätze prüfte, darunter den jetzt noch in den Vorlesungen über Experimentalphysik zum Beweis des Auftriebes stets angestellten, der darin besteht, daß ein leerer, unten durch eine angepreßte Bleiplatte verschlossener Zylinder in ein Gefäß mit Wasser gesenkt und dann durch eingegossenes Wasser die Platte zum Abfallen gebracht wurde, dann aber auch solche, die zum Beweise der Richtigkeit der Eigenschaft der Flüssigkeiten führen, daß sie sich in beiden Schenkeln eines kommunizierenden Rohres gleich hoch stellen, wenn auch die Schenkel ganz verschieden große Durchmesser haben.

Im dritten Band seiner Hypomnemata, der im Jahre 1608 erschien, gelang ihm dann auch die Lösung des viel schwieriger zu bestimmenden Druckes der Flüssigkeit auf die Seiten des sie enthaltenden Gefäßes, indem er die bereits von Archimedes verwendete Grenzmethode weiter bildete. Er zerlegt die Seitenwand in kleine Teilchen und geht davon aus, daß der Druck auf sie kleiner als das Gewicht des dem Teilchen umschriebenen und größer als das des eingeschriebenen Körpers sei. Indem er nun das Teilchen sich in eine immer größere Anzahl gleicher

Teile geteilt denkt, kommt er zu dem Ergebnis, daß man diese Anzahl soweit vergrößern könne, daß der Unterschied des umschriebenen und des eingeschriebenen Körpers kleiner werde als jede angebbare Größe. Auch die Gleichgewichtsbedingung zum Teil eingetauchter schwimmender Körper wie beladener Schiffe hat er auch in der jetzt noch gültigen Weise dahin bestimmt, daß ihr Schwerpunkt tiefer liegen müsse, wie der Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse, aber in der durch diesen gelegten Lotrechten; daß aber das Schiff um so leichter kentern würde, je näher sein Schwerpunkt dem des verdrängten Wassers liege, eine Art der Darstellung, welche bereits auf den Unterschied des stabilen und labilen Gleichgewichts hinweist. Auch ein Werk über das Gewicht der Luft hat er verfaßt, doch ist es uns nicht erhalten geblieben. Daß er aber Kenntnis davon hatte, beweist der Umstand, daß es in den lateinischen Versen, die seinen »Beghinselen der Weegkonst'«, zugefügt sind genannt wird[1]).

Waren nun bereits die vorgeführten Ergebnisse der Arbeiten Stevins geeignet, die Zeitgenossen in Erstaunen zu setzen, so war dies noch mehr der Fall mit dem berühmten Segelwagen, den er für den Prinzen Moritz von Oranien hergestellt hatte und der, von dem Prinzen gelenkt, an dem flachen und festem Strande der niederländischen Küste, obwohl mit 28 Personen besetzt, sich mit einer Geschwindigkeit bei günstigem Winde fortbewegen konnte, daß sie die eines Pferdes übertraf. Von des niederländischen Quartiermeisters weiteren Arbeiten erwähnten wir bereits die Zusammenstellung der an verschiedenen Orten der damals bekannten Erde herrschenden Deklination; die optische Gegenstände betreffenden sind von geringerer Bedeutung. Um so Tüchtigeres hat er auf mathematischem Gebiete geleistet und namentlich das Rechnen mit Dezimalbrüchen erfunden, deren praktische Einführung, wie wir sahen, er, freilich zunächst ohne Erfolg, einzuführen versucht hat. Auch war er der Urheber einer ersten theoretisch richtig erdachten Auflösung von Zahlengleichungen[2]).

c) Magnetismus, Elektrizität und Massenanziehung, Gilbert.

Stevin hatte sich mit großer Entschiedenheit gegen Aristoteles erklärt. Er hatte bei seiner Begründung des Hebelgesetzes die dynamische

[1]) J. A. C. Oudemans et J. Bosscha, Galilée et Marius. Archives Néerlandaises 1903. Ser. II. Bd. 8, S. 110 Anm.

[2]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. 2. Aufl. Bd. 2. Leipzig 1900, S. 648.

Methode des Stagiriten verworfen und die statische an deren Stelle gesetzt, sie allerdings in der originellsten Weise begründet. Die Beweisführung des Meisters hatte er freilich nicht entkräften können, wohl aber bedeutete sein Vorgehen eine Gefahr für die Scholastiker seiner Zeit, die Scholastiker, die sich die Schüler des großen Griechen nannten, aber dessen wissenschaftliche Methode längst verloren hatten. Zwar kam ihnen die Größe der Gefahr noch keineswegs zum Bewußtsein, und das um so weniger, als der Gegner, der in einem protestantischen Lande lebte, nicht in die Lage kam, gegen die Scholastik als Kirchenlehre aufzutreten, aber die Forschung Stevins war das erste Auftreten einer selbständigen Naturwissenschaft, und eine solche mußte eine Gegnerin scholastischer Anschauungen werden. Hierbei konnte es der Natur der Sache nach nicht bleiben, ein zweites ebenso tüchtiges Werk erschien mit der Wende des 17. Jahrhunderts auf dem Plan, die Abhandlung des Engländers Gilbert über den Magneten, in welchem zudem die Kopernikanische Lehre angenommen wurde, und auch dieses Werk, welches mit noch größerer Entschiedenheit die Bedeutung des Experimentes hervorhob und sich mit Glück gegen die aristotelische Lehre von den Elementen wandte, mußte nur zu sehr geeignet erscheinen, den Autoritätsglauben der Scholastiker zu erschüttern.

Sein Verfasser, William Gilbert, war 1544 zu Colchester in der Grafschaft Essex geboren, studierte im St. Johns-College in Cambridge und erhielt daselbst 1569 den Grad eines Doktors der Medizin. Nachdem er Italien, Frankreich und die Niederlande bereist hatte, ließ er sich als Arzt in London nieder. 1601 ernannte ihn die Königin Elisabeth zu ihrem Leibarzt, als welchen ihn auch Jakob I. nach der Königin Tode im Jahre 1603 beibehielt, freilich nicht lange, da Gilbert bereits im November des nämlichen Jahres starb. Die Resultate seiner wissenschaftlichen Tätigkeit hat er in seinem 1600 in London erschienenen Werke: De Magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure; Physiologia nova plurimis et argumentis et experimentis demonstrata. Es wurde 1628 und 1633 von neuem aufgelegt, zwei weitere Ausgaben von 1628 und 1629 sind wahrscheinlich nur Titelausgaben. 1892 erschien in Berlin ein Faksimile-Druck und 1901 eine vom Gilbertklub in London besorgte Ausgabe, 1893 in New York eine Übersetzung ins Englische[1]). Ein zweites von ihm ver-

[1]) Vgl. Hellmann, Zur Bibliographie von W. Gilberts de magnete Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity 1902 und Feldhaus, Die

faßte Werk: De mundo nostro sublunari Philosophia nova ist posthum 1651 in Amsterdam von Boswell herausgegeben.

Wenn man nun auch bis in die neueste Zeit das meiste, was Gilberts Werk enthält, geneigt war, für seine Entdeckungen auszugeben, so ist das mit dem wahren Sachverhalt nicht in Übereinstimmung. Wir haben ja gesehen, daß man zu seiner Zeit bereits ausgebreitete Kenntnisse über die magnetischen Erscheinungen einschließlich der Deklination und Inklination hatte. Sie waren freilich mit manchem Sagenhaften verquickt, und sie davon befreit zu haben, wird dem Londoner Arzt zum Verdienste anzurechnen sein, wie er sich denn über die von dem Veroneser Arzte Fracastoro (1483 bis 1553) angenommenen Magnetberge, die die Magnetpole darstellen sollten, lustig machte, wie er Porta gegenüber zeigte, daß der Magnet nicht nur an den Polen Eisen anziehe, an diesen jedoch mit größerer Kraft als mit seinen übrigen Teilen, und so dürfte S. Thompsons[1]) Ansicht zutreffen, daß sein Verdienst weniger in besonderen Entdeckungen und Erfindungen, als darin besteht daß er die magnetischen Kenntnisse seiner Zeit zu einer auf Experimente gegründeten wissenschaftlichen Lehre zusammenfaßte und, fügen wir hinzu, auch die einfachsten elektrischen Erscheinungen ihr einfügte. Doch aber sind auch eine Reihe Tatsachen anzuführen, deren Kenntnisse wir ihm verdanken. Er als der erste kam darauf, die Wirkung der natürlichen Magnete dadurch besser benutzbar zu machen, daß er ein Stahlband um sie legte, welches an beiden Polen besonders breit und stark war, sie armierte[2]), wie er dann auch beobachtete, daß ein in die Richtung der Deklinationsnadel gelegter Eisenstab zum Magneten wird[3]), und daß die Wirkung verstärkt wird, wenn man ihn in dieser Lage mit dem Hammer bearbeitet, ja daß jeder senkrecht aufgestellte Stahlstab Magnetismus erhält[4]). So stellte er auch zuerst aus Stahl (ferrum excoctum) künstliche Magnete her und beobachtete, daß nach dem Zerbrechen eines solchen seine Teile Magnete mit analog gerichteten Polen waren[5]).

Begründung der Lehre von Magnetismus und Elektrizität durch Dr. William Gilbert. Heidelberg 1904.

[1]) Silvanus Thompson, William Gilbert and terrestrial Magnetism in the time of Queen Elisabeth. The Electrician 1903. Bd. 50, S. 1021 ff.

[2]) Gilbert, De Magnete. Londini 1600. Lib. II, Cap. 17, S. 86.

[3]) Ebenda, Lib. VI, Cap. 1, S. 211.

[4]) Ebenda, Lib. III, Cap. 2, S. 139.

[5]) Ebenda, Lib. I, Cap. 13, S. 31.

Aber er fand auch, daß Glühen eines magnetischen Stahlstabes dessen Magnetismus vernichtete, daß dieser aber wieder auftrat, wenn man ihn in der Richtung des magnetischen Meridians aufstellte. Um dies sicherer beobachten zu können, wurde er an einem Kokonfaden in einem Gehäuse mit Fenstern aufgehängt, das ihn vor Luftströmungen schützte[1].) Das Wesen der magnetischen Kraft dachte er sich, wie seine Vorgänger noch als eine Art Beseelung. Die „magnetische Kraft ist beseelt", so lautet die Überschrift des 12. Kapitels des 5. Buches seines Werkes[2]), „oder gleicht einer Seele, welche die menschliche Seele, so lange sie mit ihren körperlichen Organen verbunden ist, in vielen Dingen übertrifft." „Die von jener Seele hervorgerufenen Bewegungen", fährt er fort[3]), „haben ja ihren Ursprung in der Natur, nicht in Gedanken, Überlegungen und Mutmaßungen, wie die menschlichen Handlungen, welche unzuverlässig, unvollkommen und ungewiß sind". Neben dieser rückwärts deutenden Anschauung entwickelt er aber einen ersten Begriff vom magnetischen Kraftfeld, wenn er bei der Feststellung der von ihm gebrauchten Begriffe dasselbe als die Anziehungssphäre, den gesamten Raum, durch welchen irgendeine Kraftwirkung des Magneten erfolgt, festsetzt[4]). So finden wir denn auch ähnliche Verhältnisse hinsichtlich seiner Magnetisierungsmethoden. Während er das Magnetisieren durch Berührung festhält und es als das vorschriftsmäßige bezeichnet[5]), wendet er doch auch die Magnetisierung durch ein die zu erteilende Polarität berücksichtigendes Streichen an. „Denn, wenn man", sagt er, zugleich auf die Beständigkeit des Magnetismus auch bei Erregung beliebig vieler Eisenkörper hinweisend[6]), „mit einem Stein tausend zum Gebrauch der Seefahrer bestimmte Instrumente berührt hat, so zieht der Magnet

---

[1]) Ebenda, Lib. I, Cap. 12, S. 30.

[2]) Ebenda, Lib. 5, Cap. 12, S. 208. Vis magnetica animata est, aut animam imitatur; quae humanam animam, dum organico corpori alligatur, in multis superat. Vgl. auch S. Thompson, The Electrician 1903. Bd. 50, S. 1023.

[3]) Ebenda, Lib. 5, Cap. 12, S. 210. Isti vero motus in naturae fontibus, non cogitationibus, ratiunculis et coniecturis fiunt, vt humanae actiones, quae ancipites sunt, imperfectae, et incertae.

[4]) Ebenda, Blatt VI. (Verborum quorundam interpretatio.) Orbis virtutis, est totum illud spatium, per quod quaevis magnetis virtus extenditur.

[5]) Ebenda, Lib. I, Cap. 6, S. 18.

[6]) Ebenda, Lib. I, Cap. 16, S. 38. Nam si quis in sublime tanti ponderis, tot ferreos clauos parietibus figeret, totidemque clavos secundum artem magnete tactos illis apponeret, omnes vinci lapilli viribus in aëre pendere cernerentur.

doch mit nicht schwächerer Kraft das Eisen an, als vorher; mit demselben Stein von einem Pfund Gewicht wird man 1000 Pfunde Eisen in der Luft aufhängen können. Denn wenn jemand in der Höhe eines so großen Gewichtes viele eiserne Nägel in die Wände schlüge und ebenso viele nach den Regeln der Kunst mit dem Magneten berührte Nägel ansetzte, so würden alle durch die Kräfte des einen Steines in der Luft schwebend gesehen werden." Auch zur möglichst kräftigen Magnetisierung der Kompaßnadeln weiß er nicht viel Besseres anzugeben. „Soll die Nadel durch den Magneten erregt werden," schreibt er zu diesem Zwecke vor[1]), „so beginne in der Mitte, und es werde die Nadel bis zu dessen Ende geführt; dort angelegt bleibt sie während einiger Zeit, nämlich ein bis zwei Minuten mittels sanftem Reibens; die Bewegung von der Mitte zum Ende darf nicht (wie es gewöhnlich geschieht) wiederholt werden, weil sonst die Polarität umgekehrt wird".

Gilberts weitere Arbeiten hatten die Untersuchung des Magnetismus der Erde zum Zweck. Dazu konstruierte er Bussolen, deren mit einem Hütchen versehene Nadel auf einer Spitze schwebte, er fertigte auch »Instrumenta Declinationis«, also nach jetziger Bezeichnung Inklinatorien an und legte die zarte Achse der vor einem in viermal 90° eingestellten Kreise spielenden Nadel auf Lager. Zur Prüfung der von Mercator zuerst ausgesprochenen Ansicht, daß die Erde ein Magnet sei und wie dieser Pole besitze, stellte er aus einem Magnetstein eine Kugel her, die er Mikroge oder Terrella nannte, und zeigte, daß ein an ihr hingeführter, an einem Faden aufgehängter, kleiner Magnet sich wirklich so stellte, wie es eine im Meridian befindliche Inklinationsnadel tut. So gelang es ihm, die Ursache der Inklination und ihre Verschiedenheit an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche zu erklären, freilich unter der Voraussetzung, daß die magnetischen Pole der Erde mit den astronomischen übereinstimmten. War das aber der Fall, dann mußte es möglich sein, aus der Beobachtung der Inklination eines Ortes der Erdoberfläche dessen Breite zu bestimmen, eine Lehre, die noch 1676 der Lehrer der Mathematik und Navigationskunst zu Radcliff bei London

[1]) Ebenda, Lib. III, Cap. 17, S. 150. Cum versorium excitur magnete, incipe in medio, et ducito versorium ad eius finem; in fine continuetur applicatio leuissimo circa finem affrictu, aliquo tempore, minuto scilicet horae vno aut altero; non iteretur motus à medio ad finem (ut solent) ità enim peruertitur verticitas (verticitas = virtus conuertens, Versorium magneticum = ferrum supra acum magnete excitum).

Henry Bond verfocht, die auch noch Leibniz für richtig hielt[1]), während sie freilich von Beckborrow angezweifelt wurde[2]). Im Gegensatz zu dem regelmäßigen Verlauf der Inklination glaubte Gilbert nicht an einen ebensolchen der Deklination. Diese sollte mancherlei Unregelmäßigkeiten unterworfen sein, weil sie nur durch die allein auf die Nadel wirkenden festen Teile der Erdrinde, nicht aber durch das Wasser des Meeres beeinflußt werde. In seiner Ansicht bestärkte ihn, daß die daraus gezogene Folgerung, in gleichem Abstand von Europa und Amerika müsse sie nicht vorhanden sein, von den Seefahrern seiner Zeit mit einiger Genauigkeit bestätigt wurde. So erschien es nur folgerichtig, wenn er das nach Norden zeigende Ende den Südpol, das Süden anstrebende den Nordpol nannte. Dafür aber, daß ein auf dem Wasser schwimmender Magnet sich nur richte, aber nicht fortbewege, hatte er nur die Erklärung, daß in der ganzen Erde eine magnetische Kraft vorhanden sei, und daß diese im Pole nur besonders stark hervortrete[3]).

Ist so der Leibarzt der Königin Elisabeth der Begründer einer wissenschaftlichen Behandlung der magnetischen Kraft geworden, so hat er sich auch nach langer Vernachlässigung wieder mit den elektrischen Erscheinungen beschäftigt. Er ging dabei, wie seine Vorgänger im Altertum, auch von Versuchen am Bernstein aus und nannte die ihnen zugrunde liegende Kraft die Bernsteinkraft oder die vis electrica. Wie man das Wort Magnetismus vergeblich bei ihm sucht, so redet er auch nicht von Elektrizität, beide Bezeichnungen sind erst später aufgekommen. Aber er beobachtete, daß die elektrische Kraft auch noch in einer Reihe anderer Körper auftreten könne, so im Diamant, dem Saphir, dem Amethyst, dem Bergkristall, dann aber auch im Glas, im Schwefel, Mastix, Kolophonium usw., während sie in andern, dem Achat, dem Alabaster, dem Marmor, in den Knochen und vor allen in den Metallen, nicht erschien. Wie die magnetische Wirkung zweier ungleichnamiger Pole aufeinander zeigte sie sich in einer Anziehung, die aber in viel mehr Körpern als die magnetische auftreten könne, aber sie erteile nur einem der von ihr beeinflußten Körpern eine Bewegung, während der

---

[1]) Gerland, Leibnizens nachgelassene Schriften physikalischen, mechanischen und technischen Inhaltes. Abhandlungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften. 21. Heft. Leipzig 1906, S. 199.

[2]) Ebenda, S. 110.

[3]) Gilbert, De magnete. Londini 1600. Lib. IV, Cap. 6, S. 162.

Magnetismus beide in Bewegung zu setzen vermöge[1]). Aus dieser Angabe ist mit Sicherheit zu folgern, daß Gilbert stets einen elektrischen auf einen nicht elektrischen Körper wirken ließ, andernfalls hätte er auch die Abstoßung bemerken müssen. Darauf wies ihn aber auch seine Art der Untersuchung, die darin bestand, daß er die Einwirkung eines elektrisch gemachten Körpers auf eine nach Art der Magnetnadel aufgestellte unelektrische Nadel aus irgendeinem Metall prüfte. Diese wurde stets angezogen, ebenso wie andere unelektrische, feste und flüssige Körper, während er eine Anziehung gasförmiger nicht beobachten konnte. Da er nun zur Erregung der elektrischen Kraft stets einen Körper reiben mußte, da er ferner beobachtete, daß Feuchtigkeit jeder Art sie vernichtete, so mußte er sie für eine von der magnetischen völlig verschiedene halten, und wenn er jene für die Äußerung einer Beseelung hielt, so glaubte er den Grund dieser in Ausflüssen zu sehen, welche durch die Reibung aus den Körpern herausgepreßt würden.

Die vier Elemente des Aristoteles verwarf Gilbert und hielt dem Stagriten vor, daß ihre Bestimmung durch je zwei Eigenschaften deshalb nicht haltbar ist, weil eine von ihnen immer vorwiegend sein soll. Das gebe die Möglichkeit einer größern Anzahl von Verbindungen und so erkennt er im Einklang mit der biblischen Schöpfungsgeschichte nur ein Element an, die Allmutter Erde, aus der die flüssigen Körper und die Luft, die nur eine verfeinerte Flüssigkeit ist, ihren Ursprung nehmen[2]). Mit Cardano erkennt er das Feuer nicht als Element an, da es der Nahrung bedürfe und nicht selbständig in der Natur vorhanden sei. In ihm sah er nur einen Aktus, nämlich den Aktus einer verfeinerten Flüssigkeit, so daß man es sich nach seiner Ansicht als einen sehr dünnen Stoff vorstellen könne[3]). So betrachtet er auch die Wärme, und es tritt demnach bei ihm eine Stofftheorie der Wärme noch nicht in den Gegensatz zu der Annahme ihres Wesens als einer Art der Bewegung. Die Körper dachte er sich nicht aus einzelnen Atomen zusammengesetzt, vielmehr glaubte er, daß der Raum kontinuierlich mit den Stoffen erfüllt sei, soweit sie sich überhaupt in ihm ausbreiteten[3]). Darüber hinaus nahm er den Raum als leer an und diesen leeren Raum

---

[1]) Ebenda, Lib. II, Cap. 2, S. 60.

[2]) Gilbert, De mundo nostro sublunari Amstelodami 1651, S. 39. Vgl. auch für das Folgende Laßwitz, Geschichte der Atomistik, Bd. I, Hamburg und Leipzig 1890, S. 315 ff.

[3]) Gilbert, ebenda S. 79 ff. — [4]) Ebenda S. 43.

sollten die Lichtstrahlen durchdringen, ohne dazu Zeit nötig zu haben. Sobald sie aber in den mit Stoff erfüllten, also namentlich in den die Erde umgebenden Luftgürtel eintreten, brauchten sie eine gewisse Zeit zur Zurücklegung ihres Weges[1]). Die Luft hielt er für eine von der Erde ausgehende Ausströmung[2]). Wenn er nun auch glaubt, daß die reine Luft nicht in Wasserdampf übergehen könne, so unterscheidet er doch beide noch nicht als zwei verschiedene Gase. Vielmehr hielt er dafür, daß der in ihr vorhandene Wasserdunst, der Vapor, in feuchte Luft übergehen könne, die dann ihrerseits wieder zu Wasser werden kann. Nur der Vapor kann diesen Übergang vermitteln, und so betrachtet Gilbert den Wasserdampf noch nicht als ein besonderes Gas, hält viel mehr die Feuchtigkeit für eine Eigenschaft der Luft[3]).

Wie nun die magnetische Kraft die magnetischen Körper einander zu nähern sucht, so werden in ähnlicher Weise die irdischen Körper von der Erde angezogen und eilen im freien Fall stets wieder nach ihr hin. Der Grund davon ist aber nicht der, den Aristoteles annimmt, nämlich das Streben eines fallen gelassenen Körpers nach seinem Ort, sondern nach seinem Ursprung, da von der Erde alle irdischen Körper stammen, und damit ist der Grund der Schwere gegeben. „Denn jene geradlinige Bewegung (eines Körpers) ist nur das Streben nach seinem Ursprung", sagt er[4]), „nicht nur der Erde, sondern auch der Teile der Sonne, des Mondes und der übrigen kugelförmigen Himmelskörper, welche sich auch im Kreise bewegen", und noch präziser an einer andern Stelle[5]): „Es ist daher die Schwerkraft das Bestreben der Körper nach ihrem Ursprung, derer die von der Erde aufgestiegen sind, zur Erde". Da nun dieses Streben bei den dichteren größer sein muß als bei den leichteren, so werden diese von jenen umgeben in die Höhe steigen, wie man beim Aufsteigen leichter Körper im Wasser und in der Luft beobachten kann. Damit war nicht nur die Annahme eines Gewichtes

---

[1]) Ebenda S. 53.

[2]) Ebenda S. 29. Auch De Magnete, Lib. II, Cap. 2, S. 57 und Lib. VI, Cap. 5, S. 227.

[3]) Ebenda S. 27.

[4]) Gilbert, De Magnete. London 1600. Lib. VI, Cap. 5, S. 227. Nam motus ille rectus tantùm est inclinatio ad suum principium, non telluris modò, sed partium etiam Solis, Lunae, et reliquorum globorum, qui in orbem quoque feruntur.

[5]) Gilbert, De mundo sublunari, S. 47. Est igitur gravitas corporum inclinatio ad suum principium, a tellure quae egressa sunt ad tellurem.

der Luft, sondern auch der Begriff der Gravitation vorbereitet, wenn auch noch nicht ausgesprochen. Denn da es die eigenen Massen sind, nach denen ihre Teile hinstreben, so werden diese als Sitz der Anziehung betrachtet. Freilich bedurfte der Begriff noch der Verallgemeinerung, denn Gilbert denkt keineswegs an eine Anziehung von Masse zu Masse, sondern nur an eine Anziehung der Himmelkörper auf ihre, von ihnen ausgegangenen einzelnen Teile, also nicht an eine Anziehung der Himmelskörper untereinander. So bildet Gilberts Ansicht den Übergang von der wenig abgeklärten Ansicht des Stagriten zu der noch heute üblichen der Massenanziehung. Einer actio in distans konnte er deshalb nicht vorarbeiten, obwohl er Anhänger der Lehre des Kopernikus war und den Raum, in dem sich die Himmelskörper bewegten für leer hielt. Wäre z. B. der Raum zwischen der Erde und dem Mond mit Körperteilchen gefüllt, so würde man ja, wie er meinte, den auf diese fallenden Schlagschatten der Erde sehen müssen.

So sehen wir in Gilberts Forschung sich überall die Wendung zu neuen Auffassungen vollziehen, die nur durch Ersetzung der unfruchtbar gewordenen Forschungsmethoden, durch solche neue zweckmäßigere sich erlangen ließen, und Galilei hatte wohl recht, wenn er von ihm sagte[1]): „Ich preise, bewundere und beneide diesen Forscher darum, daß ihm eine solche verblüffende Konzeption in den Sinn kommen konnte. Ich halte ihn ganz besonders des außerordentlichen Beifalls für würdig, da uns seine Beobachtungen soviel Neues und Richtiges kennen lehrten". Dieses Urteil des Sachkundigsten unter Gilberts Zeitgenossen wird noch in ein helleres Licht gerückt, wenn man die Leistungen zweier Gelehrten betrachtet, die in der nämlichen Zeit auf dem Gebiet des Magnetismus und der Elektrizität tätig waren, der Jesuiten Kircher und Cabeo. Obgleich sie nur wenig Neues fanden, sondern sich hauptsächlich mit der Wiederholung bereits von andern ausgeführter Versuche befaßten und diese bekannt machten, so fanden sie doch und vielleicht gerade dadurch bei ihren Zeitgenossen weit mehr zustimmende Beachtung, wie die weitaus tüchtigeren Forscher ihrer Zeit.

Athanasius Kircher war 1602 zu Geisa bei Fulda geboren, mit 16 Jahren in den Jesuitenorden eingetreten, war später Professor in Würzburg geworden, hatte sich dann nach Avignon begeben, von wo er

---

[1]) S. Thompson, The Electrician 1903. Bd. 50, S. 1022.

nach Rom berufen wurde. Hier starb er 1680. Er war ein äußerst fruchtbarer Schriftsteller, der über alle damals bekannten physikalischen und astronomischen Gegenstände weitläufige Bücher geschrieben hat, die, obwohl sie ziemlich kritiklos die wirklichen und eingebildeten Errungenschaften der Wissenschaften zusammenstellten, doch die weiteste Verbreitung fanden, namentlich, nachdem des Verfassers Schüler Kestler 1680 einen Auszug daraus zusammengestellt und in Amsterdam hatte drucken lassen. Er bildet dort die Laterna magica ab, die Kircher aber erst in die 1071 erschienenen zweiten Auflage seiner Ars magna lucis et umbrae aufnahm. Man hat darauf hin diesem die Erfindung des hübschen Apparates zueignen wollen, allerdings mit Unrecht. Denn einmal ist es unmöglich, auf die von ihm dargestellte Art die Bilder zu erhalten, und zum andern berichtet Deschales[1]), daß ihm bereits 1665 ein Däne, der von Leiden gekommen sei, dessen Namen er aber nicht nennt, die Laterna magica vorgeführt habe. Wenn nun Poggendorff[2]) in diesem Dänen Thomas Bartholinus vermutet, der um diese Zeit von Leiden nach Italien gereist sei, so ist diese Annahme durch Reinhardt[3]) als irrtümlich nachgewiesen. Nach seinen Untersuchungen war dies vielmehr Walgenstein, der die Laterna zwischen den Jahren 1646 und 1665 zuerst hergestellt und sie in Italien und Frankreich durch Schaustellungen vor einem größeren Publikum vorgeführt hat. Von größerer Bedeutung sind Kirchers Arbeiten über den Magneten. Von ihm rührt der Vorschlag her, die Größe der magnetischen Anziehungskraft mit der Wage zu messen[4]). Zu diesem Zwecke hing er einen Magneten an deren einen Arm und brachte sie mit Sandkörnern, die er auf die andere Wagschale schüttete, ins Gleichgewicht. Darauf legte er so ein Stück Eisen an den Magneten, daß die Wage im Gleichgewicht blieb, fügte so lange Sand in die solchen bereits enthaltende Wagschale zu, bis der Magnet abgerissen wurde, und bestimmte nun das zugelegte Gewicht. Auf solche Art glaubte er die vom Nordpol ausgeübte Kraft mit der vom Südpol ausgehenden vergleichen sowie ein Urteil über die Zweckmäßigkeit der Armaturen gewinnen zu können. Er fand, daß der Magnet glühendes Eisen mit der nämlichen Kraft anzieht,

---

[1]) Deschales, Mundus mathematicus. Lugd. Bat. 1674, Vol. III, S. 696.

[2]) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 436.

[3]) Reinhardt, Prometheus. Bd. XV, 1904, S. 314.

[4]) Kircher, Magia sive de arte magnetica. Colonia Agrippina 1643. Lib. II, Pars I, Prop. VI—VIII.

wie kaltes. Sodann führte er, Gilberts Versuche fortsetzend, eine Nadel um eine Terella herum und bestimmte die Richtungen, die sie dabei nach und nach einnahm, indem er Linien vom Pole der Terella zur Nadel, also Vektoren zog. Er bahnte damit die Konstruktion der Kraftlinien des Magneten an, ohne jedoch deren Begriff festzustellen, geschweige denn ihre Konstruktion zu geben[1]). Neben solchen Ideen, die geeignet waren, den Fortschritt der Wissenschaft zu fördern, bringt er freilich auch genug andere vor, die nur als haltloser Aberglauben bezeichnet werden können. So, wenn er vorschlägt, lediglich mittels Bewegung von Magnetnadeln Nachrichten auf große Entfernungen zu übermitteln, ein Vorschlag, der mit unserer Telegraphie nicht das mindeste zu tun hat, oder wenn er kranke Magneten, um sie zu heilen, in die getrockneten Blätter gewisser Pflanzen einwickeln will[2]) u. dgl. m.

Noch weniger ist es, was Cabeo den Versuchen Gilberts zuzufügen hatte. Niccolo Cabeo (Cabäus) war 1585 in Ferrara geboren und starb 1650 in Genua. 1639 ließ er in seiner Geburtsstadt eine Philosophia magnetica, 1646 in Rom eine Philosophia experimentalis, die nichts anderes als ein Kommentar zur Meteorologie des Aristoteles ist, erscheinen. Für uns hat nur das erste Werk Bedeutung, einmal weil es den Gilbertschen die neue Beobachtung zufügt, daß die Kraft des Magneten stärker auf blankes als auf verrostetes Eisen wirkt, und sodann, weil es die von Gilbert gegebene Erklärung der elektrischen Anziehung verständlich zu machen sucht. Die durch die Reibung ausgetriebenen Ausflüsse sollen danach die umgebende Luft zunächst forttreiben, alsdann aber mit ihnen zum Körper zurückkehren, indem sie an die Luftteilchen in seiner Umgebung anprallen und zurückgetrieben werden. Dabei nehmen sie leichte Körperchen

---

[1]) Kestler, Physiologia Kircheriana experimentalis. Amstelodami 1680. S. 141.

[2]) Die betreffende Stelle heißt bei Kestler: »Accipere se dicit folia laccae sive chermes nostratis, aut etiam certae isatis sylvaticae aut erythrodani, quem rubeam tinctoriam vocant, atque his hermeticè exsiccatis magnetem vestire«. Unter den ersteren Pflanzen dürfte Phylolacca decandra L., die die Kermesbeere liefert, unter der letzten die Rubia tinctorum L,. der Krapp, zu verstehen sein, die Dioskorides Σπάρτον 'Ερυθρόδανον nennt. Isatis sylvatica, welche Bezeichnung Poggendorff, Heller und Rosenberger aufgenommen haben, ist kein gegenwärtig gebräuchlicher Pflanzenname mehr. Für die obige Bestimmung beider Pflanzen spricht auch, daß beide rote Farbstoffe liefern. Vgl. Wittstein, Pharmakognosie des Pflanzenreiches, Breslau 1882, S. 398 u. 217.

mit und bringen so die Anziehung zustande. Den von Gilbert aufgefundenen Körpern, welche durch Reibung elektrisch werden können, fügte Cabeo dann noch das weiße Wachs hinzu. Kirchers und Cabeos Arbeiten haben somit Gilberts Werk nur in unbedeutenden Kleinigkeiten weitergeführt. Es sollte zwei Menschenalter dauern, bis es in wirklich wesentlichen Punkten gefördert wurde.

d) Galilei und seine Zeit.

α) Urkundliches, die Stellung Galileis in der Geschichte.

Galileis Schriften wurden sofort nach ihrem Erscheinen in den weitesten Kreisen bekannt, sie allein machten ihren Verfasser aber keineswegs berühmt, in noch höherem Maße gründete sich sein Ruhm auf den Konflikt, in den er mit der Kirche und der in ihr herrschenden Scholastik geriet. Nach der Sitte seiner Zeit[1]) führte er die Werke seiner Vorgänger nur in seltenen Fällen an, auch wenn er sie benutzte. Diese aber waren keineswegs so verbreitet, wie die seinigen, zudem fehlte ihnen ein socher Biograph, wie ihn Galilei in seinem ihn mit Begeisterung verehrenden Schüler Viviani fand. So kam es, daß man lange Zeit den Inhalt der Werke Galileis auch für ihm zukommende Erfindungen hielt und dann die Größe ihres Verfassers als eine einzig dastehende ansah, der auf einmal über so viele unerforschte Probleme das hellste Licht verbreitete.

Vorsichtige Forscher freilich schlossen sich dieser mit aller geschichtlichen Erfahrung im Widerspruch stehenden Ansicht nicht an. „Wußte man auch nichts von den Kenntnissen und Ideen derjenigen, welche sich vor Galilei mit Fragen der praktischen und theoretischen Mechanik beschäftigten," sagte schon 1872 Dühring in seiner Kritischen Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik, „so würde man dennoch nicht voraussetzen dürfen, daß eine neue Gattung des Wissens ohne alle Übergänge zustande gekommen sei. Eine solche Annahme würde dem geschichtlichen Gesetz der Stetigkeit widersprechen. So hoch man daher auch den Anteil eines einzelnen Mannes an der Hervorbringung eines neuen Zweiges der Forschung veranschlagen möge, ja selbst, wenn man Ursache hat, einer einzigen Persönlichkeit die wesent-

[1]) Vgl. G. Freytag, Bilder aus der deutschen Vergangenheit. 11. Aufl. Bd. 3. Leipzig 1879, S. 2.

liche Schöpfung einer ganzen Wissenschaft zuzuschreiben, so wird man sich doch zu hüten haben, zu meinen, die Gedanken anderer hätten sich vorher noch nie in einer verwandten Richtung bewegt[1])." Solche Vorgänger Galileis aber haben wir eine ganze Reihe kennen gelernt. Daß er Leonardo da Vincis Gedanken benutzte, ist bereits von Dühring und Caverni[2]) dargetan worden, Duhem[3]) hat später auf Nemorarius hingewiesen, und diesen hat vor kurzem Wohlwill[4]) den Philoponus zugesellt. Überdies hat Wohlwill[5]) gezeigt, daß Vivianis Nachrichten über Galilei nur ein sehr bedingtes Vertrauen verdienen, und so werden wir uns der Pflicht nicht entziehen können, die Mitteilungen über Galileis Leben und Leistungen einer sorgfältigen Kritik zu unterziehen, seine Werke aber darauf hin zu prüfen, was aus ihnen ihm selbst, was seinen Vorgängern zuzuschreiben ist. Gehen wir zunächst auf die Schilderung des Lebens des großen Italieners ein!

Was die beiden uns darüber unterrichtenden Werke anlangt, so sind sie erst nach Galileis Tode abgefaßt. Viviani schrieb seinen »Racconto istorico della vita di Galilei« 1654 auf den Wunsch des Prinzen Leopold von Medici nieder. Doch wurde derselbe zum ersten Male erst 1717 in Salvinis »Fasti consolari dell' Accademia Fiorentina«, später dann freilich öfter abgedruckt. Der zweite Lebensbericht stammt von dem Geistlichen Niccolo Gherardini, der Galilei 1633 in Rom kennen gelernt hatte, seine Arbeit über ihn aber erst 1655 verfaßte[6]). In dem wichtigeren von beiden, dem von Viviani, können wir Übertreibungen, die bis zu nachweisbaren Unrichtigkeiten führen, feststellen, wir begegnen nicht gut zu erklärenden Auslassungen, aber deshalb sind wir doch nicht berechtigt, alle in ihm enthaltenen Angaben ohne weiteres zu verwerfen. Gherar-

---

[1]) Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Geschichte der Prinzipien der Mechanik. 3. Aufl. Leipzig 1887, S. 11.

[2]) Caverni, Storia del metodo sperimentale in Italia. 4. Bd. 1895, S. 21 bis 25.

[3]) Duhem, Les origines de la Statique. Paris 1905, S. 98 ff.

[4]) Wohlwill, Ein Vorgänger Galileis im 6. Jahrhundert. Physikalische Zeitschrift 1906, Bd. 7, S. 23, auch Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte zu Meran 1905. Teil II. 2. Hälfte. Leipzig 1906, S. 80.

[5]) Wohlwill, Galilei-Studien II. Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften, IV. Bd., 1905, S. 227.

[6]) Wohlwill a. a. O., V. Bd., 1906, S. 446.

dinis nur aus dem Gedächtnis niedergeschriebene Erinnerungen aber sind mit noch größerer Vorsicht zu benutzen.

Man könnte nun daran denken, daß Galileis Schriften wohl geeignet sein dürften, in zweifelhaften Fällen zur Klarheit zu verhelfen. Aber dem steht ein Doppeltes entgegen, einmal, daß er, wie bereits erwähnt, die Quellen, wenn solche für seine Lehren vorhanden waren, gewöhnlich nicht anführt und sodann, daß ein Teil seiner Schriften verloren ging, ein anderer erst lange nach seinem Tode veröffentlicht worden ist. Seine hinterlassenen Arbeiten waren nach seinem Ableben in den Besitz seines Sohnes Vincenzio und nach dessen frühem Tode in den seines Enkels Cosimo übergegangen, der sich aus Gewissensbedenken veranlaßt sah, einen Teil davon zu vernichten. Den größeren Teil aber rettete freilich Viviani, sah sich aber auch genötigt, sie verborgen zu halten. So wären sie, da sie nach Vivianis Tode versteckt blieben, verloren gegangen, wenn nicht 1790 Nelli durch einen glücklichen Zufall die noch vorhandenen entdeckt und durch Kauf an sich gebracht hätte. Sie kamen dann auf die großherzoglich toskanische Bibliothek und wurden so vor dem Untergang bewahrt. Die erste Sammlung der Schriften Galileis erschien in Bologna 1655 bis 1656, ihr folgten 1718 und 1744 zwei weitere, die in Florenz und in Padua herausgegeben wurden. Von 1808 bis 1811 und 1832 wurde eine weitere in Mailand gedruckt. Die erste Ausgabe, die auf Vollständigkeit Anspruch machte, besorgte von 1841 bis 1856 Albèri in Florenz. Da sie aber an Zuverlässigkeit zu wünschen übrig ließ, beschloß 1888 die italienische Regierung eine neue Gesamtausgabe, deren Redaktion Antonio Favaro übertragen wurde[1]), der sich bereits früher mit dem Studium der Arbeiten und Lebensschicksale seines großen Landsmannes eingehend beschäftigt hatte[2]). 1890 begann der Druck, und es waren bis 1907 19 Bände fertig gestellt[3]), so daß nur noch der 20., der die Register bringen soll, ausstand. Nun war es möglich, in die mancherlei Unrichtigkeiten und sagenhaften Erzählungen volles Licht zu bringen.

Schon die Bestimmung des Geburtstages Galileis war unsicher. In seiner „historischen Erzählung" gibt Viviani als solchen

[1]) Favaro, Per la Edizione nazionale delle Opere di Galileo Galilei sotto gli auspicii di S. M. il Re d'Italia. Firenze 1888.

[2]) Favaro, Per la Edizione etc. Trent' anni di Studi Galileiani. Firenze 1907.

[3]) Favaro a. a. O., S. 13 ff.

den 15. Februar 1564 an, aber auf die Gedenktafel, die er zu Ehren Galileis 40 Jahre nach Abfassung seines Berichtes an seinem Hause anbringen ließ, gab er den 18. Februar als seines Lehrers Geburtstag an, und von da ist dieses fehlerhafte Datum in recht viele Bücher übergegangen. Der 18. Februar aber ist der Todestag Michelangelos, und die Möglichkeit, dies Zusammentreffen zu einer guten oratorischen Wirkung verwerten zu können, dürfte nach Favaro[1]) genügenden Grund zu der willkürlichen Datumsänderung abgegeben haben, zu welcher Vivianis eingehende Studien der betreffenden Daten eine Berechtigung auf keine Weise gaben. Der Geburtsort Galileis ist Pisa, wo sein Vater, ein Florentiner Edelmann, damals lebte, aber bald nach der Geburt dieses seines ältesten Sohnes nach Florenz übersiedelte. Da er nur über geringe Mittel verfügte, so bestimmte er den Sohn für den Handelsstand, da sich aber bald dessen große Begabung, namentlich gelegentlich des Unterrichtes in der Mathematik, den ihm Ostilio Ricci erteilte, zeigte, so erschien es dem Vater geratener, den Sohn studieren zu lassen, und er schickte ihn 1581 in dessen Geburtsstadt Pisa, wo er sich dem einträglichen Studium der Medizin widmen sollte. Für dieses aber hatte wiederum Galileo keine Neigung, ihn trieb es vielmehr zum Studium der Mathematik, und dieses förderte er mit solchem Erfolge, daß man bereits dem Fünfundzwanzigjährigen 1589 einen Lehrstuhl für Mathematik an der Universität seiner Geburtsstadt anvertraute.

β) Galilei in Pisa.

Nach Viviani und den auf ihn sich stützenden Geschichtschreibern späterer Zeit sollte Galilei in Pisa „zur großen Bestürzung der Gesamtheit der Philosophen" durch entscheidende Beweise und Erörterungen sowie durch wiederholte Experimente von der Höhe des Glockenturmes zu Pisa herab, in Gegenwart der übrigen Professoren und Philosophen und der gesamten Studentenschaft"[2]) die Unrichtigkeit der aristotelischen Anschauung nachgewiesen und damit soviel Ärgernis erregt haben, daß er seine Professur in Pisa habe aufgeben müssen.

---

[1]) Favaro, Miscellanea Galileiana inedita. Studi e ricerche. Venezia 1887, S. 9 ff. Vgl. Wohlwill, a. a. O., S. 461.

[2]) Nach der Übersetzung E. Wohlwills der Erzählung im Racconto istorico. Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften 1905, IV. Jahrg., S. 230.

Seitdem nun aber die Schriften Galileis aus seiner Pisaner Zeit durch Albèri und Favaro in den Druck gegeben und dadurch benutzbar geworden sind, sind wir genötigt, Vivianis Darstellung als eine unrichtige, durch die Begeisterung für seinen Lehrer eingegebene zu betrachten und dessen Auftreten und Arbeiten in seiner Geburtsstadt wesentlich anders zu beurteilen.

Galilei war in aristotelischer Lehre erzogen, und aristotelische Lehrsätze waren es zunächst, die er vortrug. So vertritt er in den frühesten, diesem Zeitabschnitt entstammenden Schriften noch die Ansicht, daß im luftleeren Raume die Fallgeschwindigkeiten gleich großer Körper verschiedener Art sich wie ihre spezifischen Gewichte verhielten, im lufterfüllten Raume aber werde durch das nach Archimedes' Vorgang bestimmte Gewicht in der Luft die Fallgeschwindigkeit gegeben. Darüber habe er, so berichtet er, oftmals den Versuch gemacht, die Erfahrung aber habe ihm das Gegenteil gezeigt. „Wahr ist zwar," so lauten seine Worte, „daß das Holz im Anfang seiner Bewegung schneller abwärts getragen wird als das Blei, etwas später jedoch wird die Bewegung des Bleis dermaßen beschleunigt, daß es das Holz hinter sich läßt und ihm, wenn man beide von einem hohen Turm herabfallen läßt, um eine große Strecke vorausgeht."[1]) So hat Galilei in der Tat wahrscheinlich Fallversuche von einem hohen Turm und dann wohl von dem schiefen Turm in Pisa, der für solche Versuche ja ganz besonders geeignet war, ausgeführt, aber gewiß nur zur Prüfung seiner eigenen Ansicht. Sonst hätte wohl der Pisaner Lektor der griechischen Sprache Giorgio Coresio, der 1612 und 1613 einen erbitterten Streit mit Galilei führte und dabei seiner eigenen vom Pisaner Glockenturm angestellten Versuche erwähnt, die des Aristoteles Lehre bestätigen sollten, außer der gleich zu erwähnenden Mazzeos auch der Versuche Galileis gedacht, und dasselbe würde von diesem in seiner Entgegnung wohl geschehen sein[2]). Die Erzählung Vivianis kann aber auch schon deshalb nicht das Richtige treffen, da Galilei die verkehrte Deutung seiner Versuche ja gerade in seiner aristotelischen Denkweise bestärkte. So sehr aber stand er noch auf scholastischem Boden, daß er sogar die Ansicht aussprach, daß nichts daran liege, wenn die Erfahrung auch einmal der Theorie widerspreche. Die letztere müsse

[1]) Edizione Nazionale, T. I, S. 333, nach Wohlwills (a. a. O., S. 239) Übersetzung.

[2]) Edizione Nazionale, T. IV, S. 239.

dann doch festgehalten werden, wenn sie wohlbegründet sei[1]). Anderseits aber konnte er sich auch der Überzeugung nicht verschließen, daß physikalische Wahrheiten doch gerade durch Versuche erkannt werden müssen, und so glaubte er aus ihnen ableiten zu sollen, daß die von der Theorie geforderte größere Geschwindigkeit des spezifisch schwereren Körpers keineswegs erreicht wird, aber auch, daß von Körpern gleicher Größe der spezifisch schwerere im ersten Teil der Fallzeit langsamer fällt als der leichtere, später aber rascher.

Während seiner Pisaner Zeit vollzog sich aber ein Umschwung in Galileis Ansichten über Aristoteles, wie aus seinen dem Ende dieses Zeitraumes angehörigen Schriften, namentlich aber aus einem Briefe hervorgeht, den er im Mai 1597 an Jacopo Mazzone geschrieben hat[2]). Mazzone war von 1588 bis 1598 ordentlicher Professor der aristotelischen Philosophie in Pisa; mit ihm stand Galilei in freundschaftlichem Verkehr, und namentlich war es die Lehre des Stagiriten, die vielfach den Gegenstand ihrer Unterhaltungen bildete. Da war es nun Galilei, der immer entschiedener sich gegen diese wendete und endlich auch in der Seele seines Freundes so schwer wiegende Zweifel anregte, daß dieser in seiner 1597 in Venedig erschienenen Schrift[3]) »de comparatione Platonis et Aristotelis« eine Anzahl Irrtümer zusammenstellt, denen der Stagirite verfallen sei, weil er der Mathematik nicht die ihr in der Naturlehre zukommende Bedeutung zugestanden habe. Hauptsächlich sind es Benedettis Arbeiten, auf die sich Mazzone bezieht, und so deutet dies darauf hin, daß diese auch Galilei von seinem früheren Standpunkt weggezogen haben, wenn auch manches dafür spricht, daß in dieser Zeit auch des Philoponus Arbeiten in demselben Sinne auf ihn wirkten[4]). Freilich räumte er dem Versuch noch keineswegs eine entscheidende Bedeutung ein, glaubte vielmehr die Unrichtigkeit der aristotelischen Annahme, daß die Fallgeschwindigkeit verschiedener Körper gleicher Art im Verhältnis ihrer Größen ständen, damit zurückweisen zu können, daß er die widersinnigen Folgerungen zieht, zu denen sie führt. Ste-

---

[1]) Ebenda, T. I, S. 406.

[2]) Edizione Nazionale, T. I, S. 193 ff.

[3]) Jacobi Mazonii Caesenatis in universam Platonis et Aristotelis philosophiam praeludia, sive de comparatione Platonis et Aristotelis liber primus. Venetiis 1597. S. 192. Vgl. Wohlwill, a. a. O., S. 232.

[4]) Wohlwill a. a. O., S. 242.

vin folgend, wendet er sich an den wissenschaftlichen Instinkt, wenn er sagt: „Wer wird jemals glauben, daß wenn z. B. aus der Sphäre des Mondes zwei Bleikugeln fallen gelassen würden, von denen die eine hundertmal größer wäre als die andere und wenn die größere in einer Stunde die Erde erreichte, die kleinere für die Bewegung hundert Stunden gebrauchen würde? oder, wenn von einem hohen Turme zwei Steine, von denen der eine doppelt so groß wäre, als der andere im gleichen Augenblick herabgeworfen würden, daß dann der größere schon die Erde erreicht hätte, während der andere sich in der Mitte des Turmes befände?"[1]) Dieser Ausspruch läßt freilich nicht darauf schließen, daß Galilei Fallversuche in Pisa angestellt hat. Wahrscheinlich ist es, daß er ihn aus Stevins Schriften nahm, da er in Belgien zahlreiche Korrespondenten hatte, die ihm recht wohl denselben mitteilen konnten[2]).

Nach Vivianis Erzählung soll er bereits während seiner Studentenzeit in Pisa den Isochronismus der Pendelschwingungen entdeckt haben. Die langsamen Schwingungen einer Lampe im dortigen Dome seien ihm, so lautet die bekannte Erzählung, aufgefallen, und er habe sich durch Beobachtung seiner Pulsschläge davon überzeugt, daß jede dieser Schwingungen die nämliche Zeit erfordert habe, wie jede andere. Wenn nun auch Wohlwill[3]) mit Recht über die Lampe spottet, welche Fahie in seiner 1903 in London herausgegebenen Lebensbeschreibung des großen Italieners abbildet, da diese nachweislich später im Dom zu Pisa angebracht ist, als der Studienzeit Galileis entspricht, und wenn auch mit größter Wahrscheinlichkeit angenommen werden muß, daß Vivianis Erzählung nicht den wahren Vorgang der schönen Entdeckung wiedergibt, so dürfte Galilei doch durch eine schwingende Lampe zu seiner Entdeckung angeregt sein, denn in seinen 1638 erschienenen Discorsi geht er gerade von diesem Beispiel aus, um den Isochronismus der Pendelschwingungen darzutun. Wann er zuerst darauf aufmerksam gemacht worden ist, hat er uns nicht gesagt. Wie weit er aber, als er in Pisa lehrte, noch davon ent-

---

[1]) Le opere di Galileo Galilei. Edizione Nazionale nach der Übersetzung Wohlwills in Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften 1905, IV. Bd., S. 236.

[2]) J. A. C. Oudemans et J. Bosscha, Galilée et Marius. Archives Néerlandaises 1903. Ser. II, Bd. 8, S. 120 Anm.

[3]) Wohlwill, a. a. O., 1906, Bd. V, S. 230.

fernt war, die Erfahrung als oberste Quelle unseres Wissens anzusehen, geht aus der Fortsetzung der eben zitierten Stelle hervor, die ebenfalls in Wohlwills Übersetzung heißt: „Wir wollen jedoch mehr mit Gründen als mit Beispielen operieren; denn was wir suchen, sind die Ursachen der Erscheinungen, die uns die Erfahrung nicht gibt." Das ist so sehr im Sinne der Peripatetiker gesprochen, daß die landläufige Ansicht, Galilei habe 1592 Pisa verlassen, weil er sich als zu kühner und rücksichtsloser Neuerer den unversöhnlichen Haß der Vertreter der alten Lehre zugezogen habe, die ihm dann das Leben in ihrer Mitte unerträglich gemacht hätten, unmöglich das Richtige treffen kann.

Weniger Zweifel als über die erste Konzeption der Pendelgesetze walten über einige andere Arbeiten des Pisaner Professors. Er hat dort einige tüchtige Arbeiten über den Schwerpunkt einiger Umdrehungskörper verfaßt und die Bilancetta, eine gleicharmige Hebelwage mit verlängertem Arm, angegeben[1]), deren Bestimmung die Ermittlung spezifischer Gewichte war und deren Brauchbarkeit sehr anerkannt wurde.

Aus dem Briefwechsel, den Galilei in jener Zeit mit seinem Gönner Dal Monte pflog und der uns in der Neuausgabe seiner Werke vorliegt, ergibt sich, daß es der zu niedrige Gehalt war, der ihn von dannen trieb. Es war ihm bei seinem Amtsantritt ein Jahresgehalt von 60 Goldgulden, also etwa 360 Lire ausgesetzt, und dieser Gehalt war während seiner dreijährigen Dienstzeit ungeändert geblieben, obwohl bereits 1590 Dal Monte sich mißbilligend darüber ausgesprochen hatte[2]). Als dann 1591 des jungen Professors Vater starb und ihm die Pflicht erwuchs, für seine nunmehr mittellose Familie Sorge zu tragen, da reichten seine knappen Einnahmen nicht hin und sein einflußreicher Freund trat auch diesmal, was wir mit Sicherheit aus seinen Briefen schließen dürfen, für ihn ein und verschaffte ihm, da Aussichten, nach Bologna oder Florenz berufen zu werden, sich zerschlugen, vorläufig auf sechs Jahre eine einträglichere Professur für Mathematik an der Universität der Republik Venedig in Padua, die er im Dezember 1592 antrat und bis zum September 1610 inne hatte.

---

[1]) Vgl. A. Favaro, Galileo Galilei e lo studio di Padova. Firenze 1883. Die Bilancetta in der ihr von Castelli gegebenen Form ist abgebildet in Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 114, Fig. 107.

[2]) Le Opere di Galileo Galilei. Edizione nazionale Bd. X, S. 47. Vgl. Wohlwill a. a. O., Bd. V, 1906, S. 232.

γ) Galilei in Padua und Florenz. Marius und Fabricius.

Die Zeit, die Galilei an der Universität der Republik Venedig verbrachte, war bis vor kurzem der am wenigsten bekannte Abschnitt seines Lebens. Und doch haben die Schilderungen desselben, von denen die eine bereits angeführte 1883 von Favaro, die andere 1906 von Wohlwill herausgegeben ist[1]), ergeben, daß der große Forscher gerade in dieser Zeit seine selbständigen Bahnen einschlug, die ihn von Aristoteles und Ptolemäos weg und zu Kopernikus hinführten. In seinen Vorträgen, deren erster am 7. Dezember 1592 stattfand, hielt er sich freilich noch an die Überlieferung. Zum Professor der Mathematik berufen, trug er diese Wissenschaft nach der Weise der Peripatetiker vor, seinen astronomischen Erörterungen aber legte er noch das ptolemäische Weltsystem zugrunde[2]). Trotzdem oder wohl eher gerade deshalb fanden seine Vorlesungen großen Anklang und Viviani hat Recht, wenn er von der großen Zahl der Zuhörer, die sein Meister, auch aus weiter Ferne an sich heranzog, spricht. Wenn er aber unter diesen auch den Schwedenkönig Gustav Adolf nennt, so ist das freilich ein arger Irrtum, denn der Sieger von Leipzig und Lützen ist niemals in Italien gewesen[3]). Doch ist es nicht unmöglich, daß ein anderer Prinz dieses Namens in Padua zu Galileis Füßen saß. Sicher gehörten zu seinen Zuhörern die beiden edlen Venetianer Giovanfrancesco Sagredo und Philippo Salviati, mit denen er einen Freundschaftsbund schloß, der für ihn von Bedeutung werden sollte. Aber auch darin irrt Viviani, wenn er erzählt, daß bereits in Padua Galilei durch die Angriffe auf die Lehre des Stagiriten den Haß der Jesuiten auf sich gezogen habe. Wohl bestand damals dort eine jesuitische Partei, die »Gesuiti«, und eine Gegenpartei, die »Bovisti«, aber jene hatten ja noch keine Ursache, den Professor der Mathematik anzugreifen. Doch aber vollzog sich nicht lange nach seinem Abschied von Pisa der Umschwung seiner Ansichten, der ihn zum Anhänger des Kopernikus machte, aber er hütete sich wohl, mit seiner neuen Überzeugung hervorzutreten. So schrieb er bereits am 4. August 1597 mit Bezugnahme auf des Kopernikus Lehre an Kepler:

---

[1]) Wohlwill, Galilei-Studien. Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften 1906, Bd. V, S. 240 ff.

[2]) Wohlwill a. a. O., 1906, Bd. V, S. 242.

[3]) Wohlwill a. a. O., 1905, Bd. IV, S. 247 und 1906, Bd. V, S. 450 ff.

„Ich würde wagen, meine Gedanken auszusprechen, wenn es mehrere gäbe, wie du einer bist, mein Kepler, da dem aber nicht so ist, werde ich mir solche Bemühung ersparen[1])." Auch sind wir darüber unterrichtet, daß er sich bereits in Padua mit der Form der Wurflinie und seiner davon ausgehenden Bewegungslehre beschäftigte. Er hat damals auch bereits vieles darüber niedergeschrieben und wichtige entsprechend umgearbeitete, damals verfaßte Abschnitte in die großen Werke aufgenommen, die er in seinen letzten Lebensjahren veröffentlichte. Ja nach dem Zeugnis von Paolo Sarpi[2]) dürfen wir es als gewiß annehmen, daß ihm bereits am 9. Oktober 1604 das Gesetz der Fallräume bekannt war. Ob er damals auch über das Beharrungsgesetz im klaren war, wird weiter unten zu untersuchen sein. Auch äußerlich gestaltete sich sein Leben behaglicher, er lebte mit Marina Gamba zusammen, die ihm zwei Töchter und einen Sohn Vincenzio gebar, allerdings ohne daß er sie geheiratet hätte.

In die Paduaner Zeit fallen aber auch die wichtigen Entdeckungen des Thermometers und des Fernrohres, und wir werden später zu berichten haben, welchen Anteil Galilei an diesen Erfindungen nahm. Er richtete das Fernrohr sogleich auf den Himmel und machte eine Reihe der merkwürdigsten Entdeckungen, die er aber nicht mehr in Padua veröffentlichte, die ihm aber mancherlei unerquickliche Streitigkeiten eintrugen, deren Keim in die Paduaner Zeit hineinreicht. Dort hatte der 1573 in Gunzenhausen geborene Simon Mayr, der seinen Namen in Marius latinisiert hatte, studiert, bis er 1605 als Mathematikus und Medikus in die Dienste des Markgrafen Ernst Joachim von Ansbach getreten war. Er starb 1624 wahrscheinlich in Öttingen[3]). Während seines Aufenthaltes in Padua hatte sich ihm ein junger mailändischer Edelmann Capra als Schüler angeschlossen, den er in der Astronomie unterrichtete. Gelegentlich ihrer gemeinschaftlichen Messungen entdeckte Marius am 10. Oktober 1604 einen neuen

---

[1]) Galilei, Opere complete. Ed. nazionale Bd. X, S. 68 nach der Übersetzung von Wohlwill a. a. O., Bd. V, S. 242.

[2]) Wohlwill, Die Entdeckung der Parabelform der Wurflinie. Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik. 44. Suppl. 1899, S. 583.

[3]) Klug, Simon Marius aus Gunzenhausen und Galileo Galilei. Abhandlungen der Kgl. Bayer. Akademie der Wissensch. II. Kl. 1904, Bd. XXII, 2. Abt., S. 395.

Stern im Sternbild des Schlangenträgers[1]) und diese Entdeckung teilte ein Freund Capras Galilei mit, den sie auf das höchste interessierte, so daß er sie sogleich zum Gegenstand eifrigen Studiums machte. Er hielt drei sehr stark besuchte Vorlesungen darüber, von denen uns aber außer der Einleitung nur Bruchstücke erhalten sind. Sie genügen, um zu zeigen, daß er dabei nicht in das Gebiet der Philosophen hinübergriff, noch weniger aber, wie man auf Vivianis Bericht gestützt, annahm, gegen Aristoteles und seine Anhänger auftrat, sondern auf Grund mathematischer Beweisführung den Ort und die Bewegung des Sternes festzustellen suchte. Er beschränkte sich darauf, zu beweisen, daß der Ort des neuen Sternes weit oberhalb der Sphäre des Mondes sei und auch immer gewesen sei, in den noch vorhandenen Bruchstücken aber kommt der Name des Aristoteles gar nicht vor[2]). Wohl aber nannte er Marius und Capra als die Entdecker. Gleichwohl veröffentlichte kurz darauf Capra eine Schrift über denselben Gegenstand, in der er die gehässigsten Angriffe gegen Galilei richtete. Dabei scheint er sich aber nicht beruhigt zu haben, wenigstens beklagte sich Galilei 1607 über die Verleumdungen, welche von Capra und seinen Beratern ausgingen. Wenn man nun auch den Grund dieser Gereiztheit Capras gegen Galilei nicht angeben kann, so wird man doch nicht fehl gehen, wenn man Marius mit dafür verantwortlich macht. Gehörte doch dieser zu den Leuten, die die eigentümliche Begabung haben, zu glauben, daß gerade das, was sie eben bei anderen Autoren lasen, sie selbst entdeckt hätten[3]), wie er denn, um nur eines anzuführen, auch glaubte, das Tychonische System gefunden zu haben. Galilei ertrug Capras Angriffe mit Geduld, erreichte aber nur, daß dieser zu weiteren maßloseren sich fortreißen ließ.

Im Jahre 1607 hatte Galilei einen Proportionalzirkel konstruiert und in mehr als 100 Exemplaren anfertigen lassen. Er bestand aus zwei durch ein Gelenk verbundenen Linealen, auf deren beide Seiten Linien gezogen waren. Mit Hilfe dieser Linien konnten die Unterabteilungen von Zollen, die Seiten von ähnlichen Figuren mit doppeltem, dreifachen usw. Inhalt, die Seitenlängen der regelmäßigen in den nämlichen Kreis beschriebenen Vielecke, die den Graden eines

---

[1]) Klug a. a. O., S. 404.

[2]) Wohlwill, Galilei-Studien. Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften 1906, Bd. V, S. 247.

[3]) Klug a. a. O., S. 404.

Halbkreises entsprechenden Sehnen, die Längen der entsprechenden Seiten ähnlicher Körper und die Gewichte gleich großer aus verschiedenen Metallen hergestellter Körper ermittelt werden[1]). Der Apparat, der jetzt keine Bedeutung mehr hat, sich aber wesentlich von dem Proportionalzirkel Leonardos da Vinci und demgemäß von dem Bürgis unterschied, hatte damals das größte Aufsehen erregt, und so war er nicht gesonnen, dessen Urheberschaft ohne weiteres Preis zu geben, als Capra diese für sich in Anspruch nahm. Er wandte sich vielmehr an die Signori Riformatori dello Studio di Padua in Venedig und erwirkte, daß sein Gegner vor den hohen Rat der Lagunenstadt geladen wurde. Hier trat dessen Unkenntnis mit dem von ihm als seine Erfindung beanspruchten Apparat so unzweifelhaft hervor, daß er als Plagiator bezeichnet, seine Schrift über den Proportionalzirkel eingezogen wurde. Doch ging auch aus diesen Verhandlungen hervor, daß Capra bei Abfassung seines Werkes sich der Unterstützung seines Lehrers Marius zu erfreuen gehabt hatte, ja es dürfte ziemlich sicher sein, daß dieser mit seinem Schüler das Plagiat verübt hatte[2]).

Der Hohe Rat Venedigs bewies auch bei anderen Gelegenheiten, daß er den Wert des berühmten Mathematikers für seine Universität Padua wohl zu schätzen wisse. Nach sechsjährigem Aufenthalt hatte er seinen Vertrag erneuert, seinen Gehalt wesentlich erhöht, und man hätte denken sollen, daß Galilei mit seiner Lage durchaus zufrieden gewesen wäre und den Anträgen der Mediceer gegenüber, die den noch Unberühmten leichten Herzens vor 18 Jahren aus ihrer Universität Pisa hatten ziehen lassen, sich ablehnend verhalten hätte. Aber dies war keineswegs der Fall. Obwohl ihn sein Freund Sagredo nachdrücklichst warnte, so nahm Galilei den Ruf des von Papst Pius V. zum Großherzog von Toskana erhobenen Cosmos II. von Medici an und erhielt als erster Mathematiker der Universität Pisa und erster Philosoph des Großherzogs am 12. Juli 1610 seine Bestallung. Dieser Schritt sollte für seine späteren Schicksale verhängnisvoll genug werden, und man hat Galilei Unklugheit und Undank gegen Venedig deshalb vorgeworfen. Wie mir scheint, mit Unrecht! Tat er doch nichts anderes, wie es jeder Professor der Gegenwart auch tun würde, er folgte dem Rufe, der ihm bessere Bedingungen, günstigere Gelegenheit für seine

---

[1]) Galilei, Opere complete, XI. Vgl. auch Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 118.

[2]) Klug a. a. O., S. 406 ff.

Arbeiten bot, und so mag wohl die Befreiung von dem Zwange, Vorlesungen zu halten, die seine neue Stellung nicht forderte, der Hauptgrund, Padua zu verlassen, gewesen sein. Ob ihn die Liebe zur alten Heimat, der Glanz des Hofes der Mediceer mit bestimmte, wie man nicht selten liest, wird man füglich dahingestellt sein lassen müssen, ebenso ist uns nicht bekannt, warum er Marina Gampa in Padua zurückließ, da er doch mit ihr in Verbindung blieb. Das aber ist gewiß, daß Galilei nunmehr mit dem größten Eifer seine astronomischen Beobachtungen fortsetzte.

Er hatte die Erlaubnis erhalten, auf den Schlössern des Großherzogs seinen Wohnsitz zu nehmen, erfreute sich auch vielfach der Gastfreundschaft Philippo Salviatis, der sich für jene Arbeiten in hohem Maße interessierte, und dem er dadurch dankte, daß er in seinen später verfaßten in Dialogform gehaltenen Schriften seine Meinung durch ihn aussprechen läßt. Die Ergebnisse seiner Beobachtungen veröffentlichte er 1610 in Venedig in einer Sidereus nuncius, der Sternbote, betitelten Schrift[1]), der er 1611 eine Fortsetzung folgen ließ, auch seine Entdeckungen in Briefen an seine Freunde mitteilte. Er berichtete in der ersten, daß er auf dem Monde Berge entdeckt und ihre Höhen zu bestimmen versucht habe, daß er an 40 Sterne in den Plejaden, Sternanhäufungen im Orion beobachtete, daß der Glanz der Milchstraße ebenfalls von Sternanhäufungen herrühre, daß der Jupiter von vier Monden umkreist werde, denen er den Namen der mediceischen Gestirne gegeben habe. In seinen Briefen teilte er des weiteren die Entdeckung der Sichelgestalt der Venus und des Merkurs mit, berichtete, daß er den Saturn als dreifachen Stern gesehen, und daß er auf der Sonne dunkle Flecken beobachtet habe. Um sich die Priorität zu sichern, wandte er eine von ihm erfundene Vorsicht an[2]), er verbarg seine Entdeckung in einem Anagramm, d. h. er ordnete die Buchstaben des sie enthaltenden Satzes in anderer Weise, entweder so, daß sie einen anderen Sinn gaben oder auch ganz beliebig und überließ es

[1]) So ist bereits von Kepler Nuncius sidereus übersetzt worden, obwohl Galilei nuncius als Botschaft angesehen haben wollte. Daß Kepler bereits 1610 einen zweiten Abdruck des »nuncius« veranstaltete, wie man öfters angegeben findet, scheint auf einem Irrtum zu beruhen. S. Wohlwill, Die Prager Ausgabe des Nuncius sidereus. Bibliotheca mathematica 1887. Neue Folge I, S. 100.

[2]) Huygens, Oeuvres complètes. T. VII, 1897, S. 530.

dem Leser, den wahren Sinn hineinzubringen[1]). So teilte er die Entdeckungen am Saturn dem toskanischen Gesandten in Prag Guiliano di Medici durch die Buchstaben smaismrmilmepoetalermibunenugttaviras mit, in die einen Sinn zu bringen, sich Kepler vergeblich bemühte, um ihm dann am 13. November 1610 den Satz, zu dem sich die Buchstaben ordnen lassen, zu übermitteln, nämlich »Altissimum planetam tergeminum observavi«, d. h. „den äußersten Planeten (Saturn) habe ich dreifach gesehen". Den Ring hielt nämlich Galilei für zwei kleine mit dem Hauptplaneten zusammenhängende Planeten. Freilich hatte er auch allen Grund, seine Priorität zu wahren, denn die der Entdeckung der Jupitermonde und die der Sonnenflecken wurde ihm sofort streitig gemacht.

Hinsichtlich der ersteren veröffentlichte 1614 Marius eine Schrift unter dem Titel: »Mundus Jovialis«, die Welt des Jupiter, in der er die Entdeckung der Trabanten für sich in Anspruch nahm und sie seinem dem Brandenburgischen Geschlecht angehörigen Gönner zu Ehren Sidera Brandenburgica, die brandenburgischen Sterne, nannte. Marius war ein tüchtiger Astronom, dem freilich sein streng kirchlicher Sinn — er war protestantischen Glaubens — nicht erlaubte, sich für das kopernikanische System zu erklären; auch hatte er eine gute Übersetzung des Eukleides herausgegeben. So schwankt sein Charakterbild in der Geschichte. Während schon viele seiner Zeitgenossen geneigt waren, seine Ansprüche anzuerkennen, und in neuester Zeit Oudemans und Bosscha[2]) mit großer Entschiedenheit dafür eingetreten sind und nicht anstehen, Galilei des Plagiats zu zeihen, läßt umgekehrt Favaro[3]) nichts Gutes an Marius übrig. Unter diesen Umständen war es ein sehr dankenswertes Unternehmen, daß Klug in eingehendster Weise in seiner bereits zitierten Schrift die Frage einer

---

[1]) Eines solchen Anagrammes hat sich noch Gauß bedient, als er die Entdeckung gemacht hatte, daß die mittleren Bewegungen des Jupiter und der Pallas in dem rationalen, sich immer wieder herstellenden Verhältnis 7 : 18 stehen. Er legte sie in der Chiffre 1111 000 100 101 001 nieder, die er in den Göttinger gelehrten Anzeigen vom 25. April 1812 veröffentlichte und deren Schlüssel er zu geben versprach. Das hat er nun freilich nicht getan, wohl aber seine oben bereits mitgeteilte Bedeutung in einem Briefe an Bessel vom 5. Mai 1812 gegeben. (Karl Friedrich Gauß' Werke, Bd. VI, Göttingen 1874, S. 350.

[2]) J. A. C. Oudemans und J. Bosscha, Galilée et Marius. Archives Néerlandaises. 2. Bd. 8, 1902, S. 115.

[3]) Favaro a. a. O.

erneuten und erschöpfenden Untersuchung unterwarf, die freilich gegen Marius entschieden hat. Klug faßt die Ergebnisse seiner Arbeit in die folgenden Worte zusammen[1]): „Marius hat die Trabanten des Jupiter nicht entdeckt; er hat frühestens 1610 diese Monde gesehen. Brauchbare messende Beobachtungen über die Trabanten scheinen ihm bis Ende 1613 nicht gelungen zu sein; erst im Jahre 1614 hat er wahrscheinlich brauchbare Messungen erhalten. Die Elemente zu seinen älteren und die Anfangsepochen der neueren Tafeln hat er den Schriften Galileis entlehnt, während er die übrigen Elemente der neueren Tafeln vielleicht großenteils aus eigenen Beobachtungen, und zwar aus solchen des Jahres 1614 abgeleitet hat.“ Und so hat sich denn auch Kepler mit aller Entschiedenheit auf die Seite Galileis gestellt und den Marius als Plagiator im Fehlerverzeichnis seiner Dioptrik gebrandmarkt.

Hinsichtlich der Frage nach der Entdeckung der Sonnenflecken liegt die Sache nicht so günstig für Galilei. Mit dieser ist ihm der Magister Johann Fabricius zuvorgekommen, wie Berthold nachgewiesen hat[2]). Johann Fabricius, der seinen eigentlichen Namen Smidt in Fabricius latinisiert hatte, war 1587 zu Resterhave bei Dornum in Ostfriesland als Sohn des Predigers David Fabricius geboren, hatte auf der Universität zu Helmstedt, später zu Wittenberg und Leiden Medizin studiert und sich dann zu seinem Vater, der unterdessen nach Osteel übergesiedelt war, zurückbegeben. Dieser beschäftigte sich neben seinen Amtsgeschäften mit astronomischen Beobachtungen und bewies dabei eine solche Ausdauer und Geschicklichkeit, daß ihn Kepler nach Tycho Brahes Tode für den ersten unter den beobachtenden Astronomen erklärte. Sein Interesse für astronomische Beobachtungen hatte sein Sohn von ihm geerbt, der zur Anstellung von solchen sich aus Holland ein Fernrohr mitgebracht hatte. Da der Mond und der Jupiter genügend durchforscht schienen, so richtete er sein Rohr auf die Sonne, an deren Rändern sein Vater Unregelmäßigkeiten gesehen zu haben glaubte. Solche bemerkte der Sohn zwar nicht, fand aber am 9. März 1611[3]) einen schwärzlichen, an den

---

[1]) Klug a. a. O., S. 421.

[2]) Berthold, Der Magister Johann Fabricius und die Sonnenflecken. Leipzig 1894.

[3]) Das Datum hat Berthold aus dem von David Fabricius im Jahre 1615 herausgegebenem Prognosticon astrologicum ermittelt, wo der 27. Februar alten Stils angegeben ist.

Rändern verwaschenen Fleck auf der Sonne, den er und sein Vater während mehrerer Tage beobachten und sich so überzeugen konnten, daß die Erscheinung nicht von einer Wolke herrühren konnte. Da aber die Beobachtungen mit dem Fernrohr die Augen zu sehr angriffen, so entwarfen die beiden Fabricius ein Sonnenbild auf der Hinterwand einer dunklen Kammer, in welche die Sonnenstrahlen durch eine enge Öffnung eindrangen, und konnten so Giordano Brunos und Keplers Ansicht bestätigen, daß sich die Sonne um ihre Achse drehe. Johann Fabricius machte in seiner zur Herbstmesse 1611 erschienenen Schrift: De maculis in Sole observatis Narratio[1]) Mitteilung von seiner Entdeckung.

Die erste Beobachtung von Sonnenflecken war dies freilich nicht. Bereits im Altertume hatte man solche gesehen, auch Averrhoës[2]) berichtet von einer derartigen Erscheinung, wie auch Kepler[3]) vom 18. Mai 1607. Man hatte aber die Flecken stets für die Venus oder den Merkur gehalten, die vor der Sonne hingezogen wären. Nun aber erhielten solche Beobachtungen eine ganz andere Bedeutung, und neben Marius[4]) war es namentlich Kepler[5]), der Johann Fabricius als Entdecker der Sonnenflecken anerkannte.

Trotzdem wurde sein Name in dem Streit um die Priorität der Entdeckung, der bald darauf zwischen dem Jesuitenpater Scheiner und Galilei ausbrach, nicht genannt. Christoph Scheiner war 1575 zu Walda bei Mindelheim in Schwaben geboren, war in jungen Jahren bereits in den Jesuitenorden getreten, hatte in Freiburg im Breisgau, in Ingolstadt und in Rom hebräische Sprache und Mathematik gelehrt und war dann Rektor des Jesuitenkollegiums in Neiße geworden, wo er 1650 starb. Im Januar 1612 ließ er drei Briefe[6]) über die Sonnenflecken an den Augsburger Ratsherrn Markus Welser, der für die mathematischen Wissenschaften ein großes Interesse hatte — 1558 geboren, starb er 1614 — drucken, und berichtete

---

[1]) Von Berthold a. a. O., S. 31 bis 38, abgedruckt.

[2]) Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877, S. 177.

[3]) J. Kepleri Ephemerides novae motuum coelestium. Lincij Austriae 1618. S. Berthold a. a. O., S. 21.

[4]) Marius, Mundus Jovialis. Norimbergae 1614. Vgl. Berthold, S. 16.

[5]) So in Ephemerides novae. Vgl. Berthold, S. 17.

[6]) Scheiner, Tres epistolae de maculis solaribus scriptae ad Marcum Velserum. Augustae Vindelicorum 1612.

darin, daß er die Sonnenflecken im März 1611 zuerst gesehen habe. Die Briefe erschienen pseudonym unter dem Namen Apelles, da die Mitteilung seiner Entdeckung an seinen Provinzial Scheiner alles andere, als Ermunterung, sie weiter zu verfolgen, eingetragen hatte. Die Veröffentlichung geschah demnach später als die des Johann Fabricius und konnte somit diesem die Priorität nicht streitig machen. Der erste dieser Briefe ist vom 12. November 1612 datiert. Als dann Scheiner ein Exemplar seiner Briefe an Galilei sandte, erklärte dieser unter dem Datum des 4. Mai 1612, daß er schon vor 18 Monaten, demnach vor Mitte August 1610 die Sonnenflecken gesehen habe. Da aber Galilei vorher nichts über seine Entdeckung mitgeteilt hatte, so kann auch ihm nicht die Priorität vor Fabricius zugesprochen werden, selbst wenn man nicht, wie Wolf [1]) tut, in die Zuverlässigkeit seiner Mitteilung Zweifel setzen will.

Warum aber, müssen wir fragen, wurden in der zwischen Galilei und dem Jesuiten nunmehr entbrennenden Fehde Fabricius' Entdeckerrechte mit keinem Worte erwähnt, obwohl beide Parteien davon unterrichtet sein mußten. Denn des Marius mundus Jovialis, das sie für den Friesen in Anspruch nimmt, sind sowohl von Scheiner wie von Galilei besprochen, und Keplers Ephemeriden, die die nämliche Nachricht enthalten, waren ihnen sicher auch bekannt. „Prüfen wir nun die Schriften der Rivalen," läßt sich Berthold [2]) vernehmen, „so wird uns sofort verständlich, daß die Schülerarbeit von Johann Fabricius achtlos beiseite geschoben und die gereiften Arbeiten der Rivalen mit Eifer gelesen wurden. In diesen Gründen, einem äußeren, der schnellen Überholung der Schrift von Johann Fabricius durch die Schriften seiner Rivalen, in erster Linie Scheiners und der allgemeinen Verbreitung, welche dieselben alsbald erlangten (Scheiners Briefe durch die Bemühungen Welsers, Galileis Briefe durch den Ruhm seines Namens), und einem inneren, der Gediegenheit der Arbeiten der Rivalen gegenüber der formlosen Mitteilung von Johann Fabricius, gesellte sich ein dritter, den uns Simon Marius enthüllt. Nachdem letzterer sich darüber beklagt hat, daß Scheiner ihn als »Calvianus« denunziert habe, der er doch niemals

---

[1]) Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877, S. 393.

[2]) Berthold, Der Magister Johann Fabricius und die Sonnenflecken. Leipzig 1894, S. 15.

gewesen sei, und indem er mit Recht fragt, was die Astronomie mit dem religiösen Bekenntnis zu tun habe, schreibt er im Anschluß daran: »Primi inventores et observatores macularum solarium sunt duo Fabricij Pater et Filius, verum quia haeretici putantur, nomina illorum supprimuntur[1]).« Man sieht hieraus, wie man in protestantischen Ländern geneigt war, das Vorgehen der Jesuiten anzusehen, da es aber eigentlich gegen den gut katholischen Mathematiker des Großherzogs von Toskana gerichtet war, so wird man wohl das Vorgehen Scheiners nur als aus der Absicht, seine Priorität zu wahren, entstanden aufzufassen haben. Da er eine neue Methode für die Beobachtung der Sonnenflecken in der Dunkelkammer einführte, indem er die Sonnenstrahlen durch ein weit ausgezogenes Fernrohr, anstatt wie die Fabricius' durch eine einfache Öffnung fallen ließ, so hatte er wohl ein Recht dazu, die Entdeckung als die seine zu betrachten, aber das hatten die übrigen Rivalen ebensogut, und man wird nicht fehl gehen, wenn man annimmt, daß alle drei die Sonnenflecken selbständig entdeckt haben. Diese Entdeckung konnte ja doch nicht ausbleiben, sobald immer mehr Fernrohre nach dem Himmel gerichtet wurden. Zuerst veröffentlicht hat aber Johann Fabricius seine Beobachtung, und nach dem in der Wissenschaft herrschenden Gebrauche muß er als der erste Entdecker angesehen werden.

Nun bekommt aber die Angelegenheit eine neue Bedeutung, wenn wir die Erklärungsversuche der drei Rivalen ins Auge fassen. Scheiner hielt sie wenigstens in der ersten Zeit für Körper, die die Sonne, deren Reinheit auf diese Weise gewahrt blieb, umkreisten, Fabricius und ebenso Marius waren dagegen der Ansicht, daß sie Schlacken seien, die sich bei dem großen Sonnenbrande absonderten, Galilei aber kam der gegenwärtigen Anschauung am nächsten, indem er sie für wolkenartige Gebilde auf der Sonne erklärte. Die beiden letzten Annahmen forderten die Umdrehung der Sonne um ihre Achse, und von diesem Zugeständnis war es nur noch ein Schritt bis zur Annahme des kopernikanischen Systemes. Auf die deutschen Häretiker hatten die Jesuiten keinen Einfluß, Galilei aber hatte sich in den Machtbereich Roms — und das war schon damals der Machtbereich der Jesuiten —

[1]) „Die ersten Erfinder und Beobachter der Sonnenflecken sind die beiden Fabricius, Vater und Sohn; weil sie aber für Ketzer gelten, werden ihre Namen unterdrückt." Aus dem Schlußwort zu Marius, Mundus Joviales.

zurückbegeben. Der Verdacht, daß er im Grunde seiner Seele die aristotelische Lehre nicht mehr als richtig anerkenne, lastete bereits auf ihm, so galt es, ihn streng von geistlicher Seite zu überwachen, denn da so viele auf ihn schauten, so wäre sein Abfall von der von der Kirche allein anerkannten Lehre für diese eine nicht zu unterschätzende Gefahr gewesen, der man vorbeugen zu müssen glaubte. Daß nun anderseits Galilei wirklich die Lehre des Kopernikus für die durch seine Beobachtungen allein gestützte hielt, haben wir bereits gesehen. Er hatte also alle Ursache, auf der Hut zu sein, und er war vorsichtig genug, mit seinen Veröffentlichungen so lange zu warten, bis sich seine Verhältnisse so günstig zu gestalten schienen, daß er mit seiner wahren Ansicht hervortreten zu können glaubte. Aber er hatte sich getäuscht. Nun sollte er bitter bereuen, daß er sich von seiner gesicherten Stellung im Dienste der freien Republik Venedig an den Hof eines Fürsten begeben hatte, der ihn gegen die von der Kurie wider ihn erhobenen Anklagen nicht zu schützen vermochte, da er selbst vom Papste abhängig war.

δ) Der Inquisitionsprozeß gegen Galilei. Sein Tod.

Die Akten über den Inquisitionsprozeß, in den Galilei verwickelt wurde, sind 1810 von Napoleon I. nach Paris gebracht worden[1]), wo sie der allgemeinen Benutzung zugänglich wurden. Sie blieben dort bis 1848 und wurden in der Zwischenzeit, zuerst unvollständig in einer für die Inquisition günstig gehaltenen Fassung durch den Präfekten der päpstlichen Archive Marino Marini[2]) publiziert, dessen Parteilichkeit offenbar wurde, als Henri de l'Epinois[3]) die sämtlichen Akten veröffentlichte. Darauf fußend haben dann Wohlwill[4]) und v. Gebler[5]), und Favaro[6]) diesen für die Inquisition so ruhmlosen Teil ihrer Geschichte durchforscht, die sich danach folgendermaßen darstellt.

---

[1]) A. Müller S. J., Der Galilei-Prozeß. Freiburg i. B. 1909, S. 171.

[2]) Marini, Galileo e l'Inquisizione. Roma 1850.

[3]) De l'Epinois, Galilée, son procès, sa condamnation, d'après des documents inédits. Paris 1867.

[4]) Wohlwill, Der Inquisitionsprozeß des Galileo Galilei. Berlin 1870.

[5]) Von Gebler, Die Akten des Galileischen Prozesses. Stuttgart 1877.

[6]) Favaro, Il Processo di Galileo. Firenze 1902.

Die nächste Arbeit, die Galilei nach seiner Übersiedelung nach Florenz unternahm, war, wie wir bereits sahen, die Fortsetzung des Sternenboten. Die Ergebnisse seiner Beobachtung hatte er bereits 1611 den Jesuiten des Collegium Romanum und den Mitgliedern der 1605 vom Fürsten Cesi gestifteten Accademia dei Lyncei mitgeteilt, sie waren von beiden Gesellschaften mit Anerkennung aufgenommen, ja die Akademie hatte ihn zu ihrem Mitglied erwählt und wahrscheinlich bei der darauf folgenden Zusammenkunft hatte man den Namen Teleskop für das Fernrohr vorgeschlagen[1]). Freilich bekannte sich Galilei damals noch nicht zu der kopernikanischen Lehre, obwohl namentlich die Entdeckung der Rotation der Erde so sehr für ihre Richtigkeit zu sprechen schien, daß es für nötig erachtet wurde, ein direktes Verbot gegen sie zu erlassen. Zugleich aber schien Galilei verdächtig; man suchte Briefe von ihm an seine Freunde und Schüler zu erhalten und bereits im Februar 1615 leitete die römische Inquisition ein Verfahren gegen ihn ein, ohne jedoch ihn selbst bereits vorzufordern. Daß etwas gegen ihn im Werke war, erfuhr Galilei aus den Warnungen seiner Freunde, doch ließ er sich nicht aus seiner Ruhe bringen, und erst als das Verbot der Lehre des Kopernikus zu drohen schien, entschloß er sich, wieder nach Rom zu reisen, um es womöglich zu hintertreiben. Im Dezember 1615 langte er dort an und wurde mit allen Ehren, die dem Schützling des Großherzogs von Toskana zukamen, empfangen, die geistlichen Würdenträger zeigten sich ihm wohlgeneigt. Aber das waren Äußerlichkeiten, seinen eigentlichen Zweck erreichte er nicht, vielmehr erklärte die Versammlung der sachverständigen Theologen der Inquisition, daß es töricht und absurd sei, die Sonne für das unbewegliche Zentrum der Welt und die Erde für beweglich zu erklären, daß diese Annahme mit den heiligen Schriften im Widerspruch stehe und im theologischen Sinne ein Irrtum im Glauben sei. Dieser Beschluß wurde auf Befehl des Papstes Galilei mitgeteilt. Er wurde vor den Kardinal Bellarmin vorgeladen, der ihn zu ermahnen hatte, „daß er die genannte Meinung aufgebe, und wenn er sich weigern sollte, zu gehorchen, sollte der Pater Commissarius in Gegenwart von Notar und Zeugen ihm den Befehl erteilen, gänzlich darauf zu verzichten, eine derartige Lehre und Meinung zu lehren oder zu verteidigen

---

[1]) Hieronymi Sirturi Mediolanensis Telescopium. Francofurti 1618, S. 27.

oder zu erörtern; wenn er aber sich nicht dabei beruhigte, sollte man ihn ins Gefängnis werfen[1])." Aber Galilei dachte nicht daran, den Gehorsam zu verweigern, und so hatte der Pater Commissarius keine Veranlassung, in der angedrohten Weise gegen ihn vorzugehen. Damit aber war seinen Anklägern nicht gedient, sie hatten gehofft, daß er abschwören müsse. Das Gerücht, daß dies wirklich geschehen sei, verbreitete sich von Rom aus und beunruhigte seine Freunde, die sich besorgt um Aufklärung an ihn wandten; diese konnte der toskanische Mathematiker in erwünschter Weise geben, aber er hielt es unter diesen Umständen doch für geraten, am 26. Mai 1616, ehe er Rom verließ, sich von Bellarmin das folgende Zeugnis über den wahren Verlauf des Verhöres ausstellen zu lassen: „Wir Robert Kardinal Bellarmin, da wir vernommen, daß der Herr Galileo Galilei verleumdet und ihm zur Last gelegt worden sei, in unsere Hand abgeschworen zu haben, sowie daß aus diesem Anlaß ihm heilsame Büßungen auferlegt worden seien, und da wir um ein Zeugnis für die Wahrheit angegangen sind, erklären, daß der gedachte Herr Galileo weder in unsere Hand, noch vor andern in Rom, noch, soviel wir wissen, anderswo irgendeine seiner Ansichten und Lehren abgeschworen hat, sowie auch, daß ihm keine heilsamen Büßungen auferlegt, sondern nur die von Unserm Herrn abgegebene und von der Heiligen Kongregation des Index publizierte Erklärung zur Kenntnis gebracht worden ist, des Inhalts, daß die dem Kopernikus beigemessene Lehre, daß die Erde sich um die Sonne bewege und die Sonne im Zentrum des Weltgebäudes stehe, ohne sich von Aufgang zu Niedergang zu bewegen, der Heiligen Schrift zuwider ist und somit weder für wahr gehalten noch verteidigt werden darf"[2]). Galilei

---

[1]) Nach Wohlwills Übersetzung a. a. O., S. 3. Der Urtext lautet: Galileum moneat (Cardinalis Bellarminus) ad deserendam dictam opinionem; et si recusaverit parere, Pater commissarius coram notario et testibus faciat illi preceptum, ut omnino abstineat huiusmodi doctrinam et opinionem docere aut defendere seu de ea tractare; si vero non acquieverit, carceretur.

[2]) Nach Wohlwills Übersetzung a. a. O., S. 17. Der Urtext lautet: Noi Roberto Cardinale Bellarmino avendo inteso che il signor Galileo Galilei sia calunniato e imputato di avere abbiurato in mano nostra ed anco d'essere stato perciò penitenziato di penitenzie salutari, ed essendo ricercati della verità, diciamo che il suddetto sig. Galileo non ha abbiurato in mano nostra nè d'altriqui in Roma, nè meno in altro luogo, che noi sappiamo alcuna sua opinione e dottrina nè manco ha ricevute penitenzie salutari: ma solo gli è stata denunziata la dichiarazione dell' Indice, nella quale si ritiene che la dottrina attribuita al Copernico che la

kehrte nun nach Florenz zurück, wagte aber bis 1623 sich mit keiner Schrift in die Öffentlichkeit. Er war zudem leidend, und so war er auch nicht imstande, den Kometen vom Jahre 1618 selbst zu beobachten. Dies tat an seiner Stelle sein Freund und Schüler, der Florentiner Edelmann Mario Guiducci (1584 bis 1646), der die Kometen für Dunstsäulen erklärte, die von der Erde aufstiegen, in den Sonnenstrahlen aber erst sichtbar würden. Seine Schrift wurde indessen Galilei zugeschrieben; wie eifrig die Jesuiten aber den greisen Gelehrten bewachten, beweist, daß der Pater Grassi (1582 bis 1654) sofort eine gegen diesen und nicht gegen seinen Schüler gerichtete Gegenschrift unter dem Pseudonym Sarsi verfaßte, worin er die Kometen für Himmelskörper erklärte.

Als dann aber 1623 der Papst Gregor XIV. starb und an seiner Stelle der Kardinal Barberini, ein Bewunderer Galileis, als Urban VIII. den päpstlichen Stuhl bestieg, da glaubte dieser aus seiner Zurückhaltung heraustreten zu dürfen. Er begab sich nach Rom, um dem Papste zu huldigen, und die Accademia dei Lyncei stand nicht an, Urban die von Galilei als Erwiderung auf Grassis Angriffe verfaßte Schrift Il Saggiatore zu widmen, die zwar die kopernikanische Lehre verteidigte, aber sie nur als Hypothese behandelte. Die Schrift fand allgemeinen Beifall, doch erfüllte sich ihres Verfassers Hoffnung, das kopernikanische System von dem auf ihm lastenden Banne zu befreien, nicht. Indem er nun glaubte, auf andere Weise dieses Ziel erreichen zu können, schrieb er 1629 den Dialogo intorno ai due massimi systemi del mondo, seinen Dialog über die beiden Weltsysteme, die das ptolemäische mit dem kopernikanischen verglich. Nach längeren Verhandlungen und nach Vornahme einiger nicht sehr belangreicher Änderungen erhielt er das Imprimatur. Im Februar 1632 erschien das Buch in Florenz und erregte mit Recht bei Freunden und Feinden das größte Aufsehen.

Es ist in Dialogform geschrieben und in vier Tage eingeteilt. Die sich unterredenden Personen sind Salviati, Sagredo und Simplicius, die beiden ersten nach den Namen seiner bereits erwähnten damals bereits verstorbenen Freunde, die dritte nach dem Kommentator des

---

Terra si muova intorno al Sole e che il Sole stia nel centro del mondo senza muoversi da oriente ad occidente, sia contraria alle Sacre Scritture e perciò non si possa difendere nè tenere.

Aristoteles im 6. Jahrhundert Simplicius genannt. Von diesen vertritt Salviati die kopernikanische, Simplicius die aristotelische Weltanschauung, Sagredo aber steht als gebildeter Laie, der sich unterrichten will, zwischen beiden und gibt ihnen durch sein Dazwischentreten Gelegenheit zur ausführlichen Darlegung der beiderseitigen Ansichten. Am ersten Tag wird die aristotelische Lehre vom Weltgebäude behandelt, am zweiten und dritten die Bewegung der Erde um ihre Achse und um die Sonne, im vierten die Gezeiten, aus deren Vorhandensein Galilei einen Beweisgrund für die Achsendrehung der Erde nimmt. Mit aller nur wünschenswerten Klarheit wird die kopernikanische Weltanschauung dargestellt, und sie tritt als die einzig haltbare hervor. Gleichwohl vermeidet Galilei der ihm gewordenen Weisung gemäß auf das sorgfältigste, sie als wahr hinzustellen. Nicht die Logik und Mathematik hätten über ihre Wahrheit zu entscheiden, diese Entscheidung stände vielmehr einer höheren Einsicht zu. Damit glaubte Galilei den ihm gemachten Vorschriften völlig genügt zu haben, und alles schien auf bestem Wege zu sein. Aber ein solcher Ausgang war nicht nach der Meinung der Inquisition, die das Aufgeben des kopernikanischen Systems gefordert hatte. Der Form nach war diese Forderung zwar erfüllt, der Sache nach jedoch in gefährlichster Weise umgangen. Man war nicht gewillt, diesen Vorstoß Galileis sich widerstandslos gefallen zu lassen, um Waffen gegen ihn war man nicht verlegen.

Zunächst wurde Galileis Buch suspendiert, dann ging man gegen ihn selbst vor, und zwar auf Grund eines Schriftstückes, welches sich in den Archiven der Inquisition fand und von dem man annahm, daß es das Ausführungsprotokoll des dem Kardinal Bellarmin erteilten Befehles sei. Denn es wird darin gesagt, daß Galilei vor Sr. Eminenz erschienen sei, die ihn ermahnt habe, seine Meinung über das kopernikanische Weltsystem aufzugeben. Dann aber heißt es weiter[1]):

[1]) Nach Wohlwills Übersetzung a. a. O., S. 5. Successive ac incontinenti in mei praesentia et testium et praesente etiam adhuc eodem Jll. D. Cardinali supradictus Pater commissarius praedicto Galileo adhuc ibidem praesenti et constituto praecepit et ordinavit pro nomine S. D. N. Pape et totius congregationis S. Officii, ut supradictam opinionem quod sol sit centrum mundi et immobilis et terra moveatur omnino relinquat, nec eam de caetero quovis modo teneat, doceat aut defendat, verbo aut scriptis, alias contra ipsum procedetur in S. Officio: cui praecepto idem Galileus acquievit et parere promisit. Super quibus peractum Romae ubi supra praesentibus ibidem etc.

„Darauf folgend und sofort in meiner und der Zeugen Gegenwart und während derselbe Herr Kardinal gleichfalls noch anwesend war, hat der oben genannte Pater Commissarius dem vorgenannten, noch ebendaselbst anwesenden und auf Vorladung erschienenen Galilei im Namen Seiner Heiligkeit und der ganzen Kongregation des Heiligen Offiziums die Anweisung und den Befehl erteilt, daß er die oben genannte Meinung, daß die Sonne das Zentrum der Welt und unbeweglich sei und die Erde sich bewege, gänzlich aufgebe und sie fernerhin in keinerlei Weise für wahr halte, lehre oder verteidige, in Worten oder Schriften; sonst werde gegen ihn im Heiligen Offizium verfahren werden; und bei diesem Befehl hat derselbe Galilei sich beruhigt und zu gehorchen versprochen. Worüber verhandelt zu Rom an oben gemeldeten Orte, in Gegenwart" usw. Hier folgen nur noch die Namen einiger Zeugen.

Das Schriftstück ist vom 26. Februar 1616 datiert, am Tage vorher war der Befehl dem Kardinal zugegangen. Es trägt aber keine Unterschrift, auch nicht die der Zeugen. Es war also im besten Falle ungültig, und der Verdacht liegt nahe, daß es zu dem Zwecke, ihn zu verurteilen, untergeschoben wurde, denn gegen diesen Befehl hatte Galilei allerdings verstoßen. Dem Papste wurde darüber berichtet, eine mit diesem Berichte betraute Kommission legte dar, daß Galilei das Imprimatur unrechtmäßig erworben habe, da er den ihm 1616 erteilten Befehl dem Zensor verheimlicht habe. Daraufhin erging an den Inquisitor in Florenz die Weisung, Galilei mitzuteilen, daß er sich im Laufe des Monats Oktober in Rom vor dem Generalkommissar der Inquisition behufs seiner Vernehmung zu stellen habe. Alle Bemühungen Galileis und des Großherzogs, die Zurücknahme des Befehls zu erwirken, halfen nichts, und so traf der fast 70 jährige, von Krankheit geplagte Greis am 13. Februar 1633 in Rom ein.

Hier mußte man ihm zunächst Zeit zur Erholung gönnen. Er wohnte bei dem florentinischen Gesandten Niccolini und dieser, wie seine Freunde, hatten ihm geraten, von seiner Überzeugung ganz abzusehen und sich, um eine rasche Erledigung des Prozesses zu ermöglichen, recht fügsam zu zeigen. „Da ergriff den Greis eine tiefe Betrübnis, und am folgenden Tage fand ihn Niccolini so zusammengesunken, daß er ernsthaft für sein Leben fürchtete[1])." Am 12. April begannen

---

[1]) Albèri, Opere complete di Galileo Galilei. Firenze 1842 bis 1856, Bd. IX, S. 439. — Vgl. Wohlwill a. a. O., S. 42.

die Verhöre, deren Protokolle noch vorhanden sind. Wohl zeigte sich Galilei fügsam, aber während die Richter nach dem nicht unterschriebenen Befehl ihre Fragen an ihn stellten und ihn vor allem des Ungehorsams überführen wollten, so konnte der Angeklagte, dem nur das Zeugnis des unterdessen verstorbenen Bellarmin bekannt war, die meisten Fragen nicht verstehen und den gemachten Vorhalten nur entgegenstellen, daß er sich ihrer nicht erinnere. Auch in der Verteidigungsschrift, der er das Originalschreiben des Kardinals beifügte, beruft er sich darauf, daß ihm außer diesem etwas anderes niemals mitgeteilt worden sei. Die Richter, zehn Kardinäle, waren hinsichtlich der Schuldfrage geteilter Meinung, nur sieben haben das Urteil unterschrieben[1]), das Galilei für schuldig erklärte, die Namen der Kardinäle Barberini, Borgia und Zacchia fehlen darunter. Man wird dies als Beweis dafür nehmen dürfen, daß sie von Galileis Schuld nicht überzeugt waren, um so mehr, als die beiden erstgenannten Galilei besonders günstig gesinnt waren[2]).

Das Urteil lautete auf Abschwören der Lehre von der Bewegung der Erde, auf Kerkerstrafe und auf Auferlegung einer Buße durch wöchentlich einmaliges Abbeten der sieben Bußpsalmen. Galilei schwur darauf in aller Form die Lehre des Kopernikus kniend öffentlich am 22. Juni 1633 im großen Saale des Dominikanerklosters Sta Maria sopra la Minerva ab, worauf ihm die Kerkerstrafe erlassen wurde. Aber auch frei ließ man ihn nicht und erlaubte ihm später nur unter der Bedingung nach Florenz zurückzukehren, daß er sein Landhaus bei Arcetri, welches ihm als Aufenthalt angewiesen wurde, nicht verließ. Seine Schrift aber blieb auf dem Index der verbotenen Bücher bis zum Jahre 1835, ebenso wie Keplers Schrift über das kopernikanische Weltsystem, und so hat die katholische Kirche volle 200 Jahre bedurft, ehe sie den sich ihr Unterordnenden die Segnungen der Wissenschaft teilhaftig zu werden gestattete, die seit der Zeit ihres Erscheinens der übrigen Welt zugänglich gewesen sind.

Es mag dahingestellt bleiben, ob der Prozeß Galileis bei der Mitwelt ähnliche Empfindungen hervorrief, wie in späteren Zeiten, die den unglücklichen Greis im Kerker gefoltert werden ließen, die dann

[1]) Cantor, Galileo Galilei. Zeitschrift für Mathematik und Physik 1864. Jahrg. IX, S. 194.

[2]) A. Müller, Der Galileiprozeß 1909, S. 153 hält zwar dafür, freilich ohne einen Beweis dafür zu geben, daß sie „wohl bloß aus Zufall nicht zugegen waren".

zu seiner Rechtfertigung das Märchen aufbrachte, nach dem Widerruf sei er trotzig aufgesprungen und in die Worte ausgebrochen: »E pur si muove!« „Und sie bewegt sich doch!" Er hat sich „löblich unterworfen" in der nämlichen Weise, wie wir es in unseren Tagen in mehreren Fällen erlebt haben, in denen man einen solchen Ausgang auch nicht erwartet hätte. Aber wir dürfen deshalb auch nicht zu streng mit ihm ins Gericht gehen. Er wußte, daß das Verfahren weniger gegen seine Person, als gegen die Lehre von der Bewegung der Erde gerichtet war, daß er, falls er nicht widerrief, wie 30 Jahre früher Giordano Bruno, dem Scheiterhaufen verfiel. Er aber hatte nicht die trotzige Charakterstärke, die den Märtyrer macht, war zur Zeit des Prozesses krank und schwach, und zudem hatte er sich ja jahrelang damit abfinden müssen, die Lehre, um derentwillen er angeklagt war, nicht für wahr zu halten und zu verteidigen. Zudem war er ein gläubiger Katholik, der die Bibel als Gotteswort anerkannte, wenn er auch die Ansicht hegte und gelegentlich seinen Freunden gegenüber aussprach, daß Gott, wenn er aus der Heiligen Schrift zu uns rede, sich der jeweiligen Auffassung der Menschen anbequemt habe. Wie schwer ihm aber die Verleugnung seiner wissenschaftlichen Ansicht fiel, das hat die Darstellung des Prozesses ja genugsam ergeben, und die Sache liegt demnach keineswegs so, daß man seine Abschwörung kurzerhand einen falschen Eid nennen könnte[1]). Und so hat denn auch sein Verhalten wohl Mitleid, aber keine Verachtung erregt, wie dies bei der Häufigkeit der Ketzergerichte in damaliger Zeit wohl begreiflich ist. Er wurde in Rom nicht in den Kerker geworfen, sondern durfte seinen Aufenthalt in einer Villa des Großherzogs nehmen, und da er Rom zu verlassen wünschte, wurde ihm gestattet, nach Siena zu dem Erzbischof Piccolomini überzusiedeln, bis er endlich die Erlaubnis erhielt, nach Florenz zurückzukehren. In seiner Villa bei Arcetri, die ihm zum Wohnort angewiesen wurde, empfing er den Besuch des Großherzogs Ferdinands II. von Toskana, der 1621 den Thron der Mediceer bestiegen hatte, den Besuch Miltons, des Dichters des verlorenen Paradieses, die beide einen Geächteten wohl schwerlich aufgesucht hätten, er führte von dort aus Verhandlungen über Längenbestimmungen zur See mit den Generalstaaten, wovon noch die Rede sein wird, freilich ohne zu einem Ergebnis zu kommen. Die letzten neun Jahre seines Lebens aber — er starb am 8. Januar

[1]) Wie Heller tut, Geschichte der Physik, Bd. I, Stuttgart 1882, S. 362.

1642, nachdem er seit 1637 erblindet war, — verwendete er teils zur Zusammenfassung seiner Arbeiten aus früherer Zeit, teils zu weiteren Entdeckungen und Erfindungen. Gehören doch die Entdeckung der Libration des Mondes und die Erfindung der Pendeluhr dieser Zeit an.

ε) Die Erfindung des Thermometers. Drebbel.

Die Betrachtung und Würdigung der Erfindungen und wissenschaftlichen Arbeiten des Gefangenen von Arcetri können wir nicht besser charakterisieren als mit den Worten, mit denen E. Wohlwill dessen Wirken schildert. „Galileis Stellung," sagt er[1]), „wird durch seine wissenschaftlichen Leistungen nur unvollständig gekennzeichnet; wie bei nur wenigen Gelehrten, namentlich seines Zeitalters, war bei ihm Forschen und Lehren untrennbar verbunden; mit geringfügigen Ausnahmen tritt in allen seinen Werken die Absicht der Belehrung in den Vordergrund, und der Absicht entsprach eine vollendete Meisterschaft der Kunst, für jedermann verständlich zu erklären und zu beweisen; so hat er auch für die Lehre von der Erdbewegung und für die neue Weltanschauung, zu der sie führen mußte, nicht allein in seinem Vaterlande, sondern allerorten Tausenden zuerst das Verständnis erschlossen, und die Mittel der Verdeutlichung und Veranschaulichung, deren sich noch heute der Unterricht zu gleichem Zwecke bedient, sind zu nicht geringem Teil diejenigen, deren er zuerst sich bedient hat." Dies tritt namentlich in seiner Behandlung der Probleme der Mechanik hervor, die vor seinen andern Arbeiten als sein eigentliches (Lebenswerk zu bezeichnen sind, auch insofern, als er sich während seines ganzen langen Lebens unausgesetzt damit beschäftigt hat. Indem wir mit diesen am besten den Schluß unserer Schilderung machen, beginnen wir mit der Erfindungsgeschichte des Thermometers:

Diese war 1865 und 1867 von E. Wohlwill[2]) und Fr. Burckhardt[3]) dargestellt worden und schien, da beide Forscher keine Mühe gescheut hatten, durch sorgfältiges Studium der Quellen ihre Ergebnisse zu ergründen, endgültig gelöst zu sein und dies um so mehr, als

---

[1]) E. Wohlwill, Galilei und sein Kampf um die Kopernikanische Lehre. Hamburg und Leipzig 1909, S. 41.

[2]) E. Wohlwill, Zur Geschichte der Erfindung und Verbreitung des Thermometers. Poggendorffs Annalen 1865, Bd. 124, S. 163.

[3]) Fr. Burckhardt, Die Erfindung des Thermometers und seine Gestaltung im 17. Jahrhundert. Basel 1867.

diese Ergebnisse sich als übereinstimmend erwiesen. Weitere Untersuchungen beider machten jedoch noch einige Änderungen dieser Resultate notwendig. Burckhardt[1]) konnte einige weitere Daten dazu beibringen, während Wohlwill[2]) aus der mittlerweile erschienenen Nationalausgabe der Werke Galileis, die zu erwähnen wir bereits vielfach Gelegenheit hatten, auch noch einige dunkle Punkte aufzuklären imstande war. So dürfte über die Erfindung und Einführung des so wichtigen Meßapparates in die Wissenschaft jetzt volle Klarheit herrschen.

Nach der früheren Ansicht soll Galilei um 1600 den ersten thermometrischen Versuch gemacht, ihn aber nicht weiter beschrieben, sondern es seinen Schülern überlassen haben, ihn bekannt zu machen. Die nur um weniges später angestellten Versuche Drebbels, die zur Herstellung eines ähnlichen Apparates führten, wären aber nur Wiederholungen ähnlicher Vorrichtungen gewesen, wie sie Heron und Porta angewendet hatten und hätten lediglich beabsichtigt, ein Perpetuum mobile zu bauen. Erst später habe er, wie nach ihm Teudd, nach Galileis Vorgang eine Skala angebracht und so ein Thermometer erhalten.

Nach Viviani[3]) erfand Galilei nach 1592 das Thermometer. Es war ein Glas mit Luft und Wasser, welches dazu diente, Veränderungen und Unterschiede der Temperatur zu erkennen. Genauer schildert Castelli in einem Briefe vom 20. September 1638 den Versuch, den Galilei vor 35 Jahren, wie er sagt, also 1603 angestellt habe, folgendermaßen: „Er nahm eine Glasflasche von der Größe eines kleinen Hühnereis mit einem zwei Spannen langen Halse, fein wie ein Getreidehalm, und erwärmte diese Flasche gut mit den Ballen seiner Hände; als er dann das offene Ende in ein untergestelltes Gefäß eintauchte, in dem ein wenig Wasser sich befand, und aufhörte, die Flasche zu erwärmen, begann das Wasser sofort in den Hals zu steigen und stieg mehr als eine Spanne weit über die Oberfläche des

[1]) Fr. Burckhardt, Zur Geschichte des Thermometers. Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Basel 1902, Bd. XVI, S. A.

[2]) E. Wohlwill, Neue Beiträge zur Vorgeschichte des Thermometers. Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften 1902, 1. Jahrg., S. 55 ff.

[3]) Opere di Galileo Galilei. Firenze 1718. Vol. I, S. LXVIII.

Wassers."[1]) Von derselben Wirkung habe Galilei nachher Gebrauch gemacht, um die Grade der Wärme und Kälte zu prüfen. Daß diese Zeitbestimmung nur annähernd zutreffen kann, ergibt sich aus einem von Galilei selbst geschriebenen Briefe. Im April 1626 hatte ihm Cesare Marsili brieflich mitgeteilt, daß nach Bologna ein Ingenieur gekommen sei, der mit einer Art Salz- oder Seewasser in eigentümlichen Flaschen die Bewegung von Ebbe und Flut zur Darstellung bringen wolle, und er hatte geantwortet, daß er glaube, daß diese Bewegung von Erwärmung und folgender Abkühlung abhänge, daß er die Anwendung salzigen Wassers für eine Verschleierung des Vorganges halte, da süßes dasselbe tun würde; einen solchen Scherz habe er vor 20 Jahren in Padua gemacht[2]). Danach würde der obige Versuch in das Jahr 1606 fallen. Man wird also daraus schließen dürfen, daß Galilei in den ersten Jahren des 17. Jahrhunderts den beschriebenen Versuch gemacht hatte, jedoch noch ohne die Absicht zu haben, ihn zur Beobachtung von Temperaturen zu benutzen. Als ihm dann aber Sagredo[3]) unter dem Datum des 30. Juni 1612 brieflich mitteilte, Santorio in Padua habe ein Instrument, welches aus einer großen Glaskugel mit einem langen Halse bestehe, und an welchem man die Kälte und Wärme mit dem Zirkel messen könne, hergestellt, so antwortete er ihm, daß er selbst dies Instrument erfunden habe. Wenn uns auch die Antwort nicht erhalten ist, so dürfen wir die ihr zugrunde liegende Ansicht aus den späteren Briefen Sagredos mit Sicher-

---

[1]) Nelli, Vita e Commercio di Galileo Galilei. Losanna 1793, Vol. I, S. 69. Auch Boncompagnis Bulletino Tomo XI, Roma 1878, S. 645 bis 646. Die Übersetzung nach Wohlwill, Mitteil. zur Gesch. der Med. u. d. Naturwissensch. 1902. Jahrg. I, S. 285. Ein Apparat dieser Art war als Galileis Originalapparat 1876 zu der internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Apparate nach London geschickt und ist von mir im Bericht über deren historischen Teil abgebildet (Hofmanns Bericht, Braunschweig 1878, Bd. I, S. 70). Er befindet sich im Museo di Galilei in Florenz. Wenn Hellmann aus der schönen Arbeit Bedenken gegen die Echtheit erheben möchte, so ist allerdings das Gegenteil nicht zu erweisen, aber darauf aufmerksam zu machen, daß aus Galileis Zeiten stammende, in Florenz verfertigte Glassachen erkennen lassen, auf wie hoher Stufe die Kunst des Glasblasens damals in Italien stand.

[2]) Alberi, Opere di Galileo Galilei. Vol. VI, S. 313. Vgl. Wohlwill, Mitteilungen usw., S. 285.

[3]) Commercio epist. Vol. III, S. 218. Vgl. Burckhardt, Erfindung des Thermometers, S. 14.

heit entnehmen[1]) und Caverni[2]) geht gewiß zu weit, wenn er diese Annahme nicht gelten lassen will, weil der Brief, in dem sie ausgesprochen sein muß, nicht erhalten sei. Doch aber geht aus diesen Briefen hervor, daß Santorio das Verdienst gebührt, die Brauchbarkeit des von Sagredo beschriebenen Apparates erwiesen zu haben. Wir wissen nicht, ob er ihn von Galilei übernahm oder ob er einen Apparat des Heron, dessen Schriften er kannte, benutzt hat.

Santorio (Sanctorius) war 1561 in Capo d'Istria geboren, war praktischer Arzt in Venedig gewesen, dann 1611 als Professor der Medizin nach Padua berufen worden, welche Stellung er bis 1624 beibehielt. Er starb 1636 in Venedig. Aus Sagredos Brief folgt, daß Santorio spätestens im Sommer 1612 den beschriebenen Apparat benutzt hat. In seinem 1611 geschriebenen Kommentar zu Galen will er noch die Temperatur durch das Gefühl beurteilen[3]). Doch hat er ihn wohl erst später mit einer festen Skala versehen, sein ältester Apparat[4]) zeigt wenigstens statt einer solchen nur zwei um das Rohr geknüpfte Bändchen, die wohl die verschiedenen Stände der Flüssigkeit angeben sollten, und deren Abstand leicht mit dem Zirkel auszumessen war, während er bei einem andern, den er zur Bestimmung der Herzwärme verwenden wollte, eine Skala angebracht zu haben scheint[5]).

Sagredo verbesserte das Instrument und hat es jedenfalls bereits 1615 mit einer Skala versehen gehabt. Er teilt Galilei unter dem Datum des 7. Februar dieses Jahres mit, daß er beobachtet habe, daß das Brunnenwasser im Winter kälter ist als im Sommer, daß ein Instrument, welches bei größter Sommerhitze 360 Grade zeigt, in Schnee begraben nur 100, in einer Mischung von Schnee und Salz aber noch 100 und mehr Grade weniger zeige[6]). Einem Fragmente in der Paduanischen Ausgabe der Galileischen Werke von 1744 zufolge, das Burckhardt[7]) mit den Sagredoschen Briefen in Zusammenhang bringen zu dürfen glaubt und in Übersetzung mitteilt, erklärt

[1]) Wohlwill, Mitteilungen usw., S. 287.

[2]) Caverni, Storia del metodo sperimentale in Italia. Bd. I, S. 274.

[3]) Sanctorius, Commentaria in artem medicinalem Galeni Venetiis 1612. Vgl. Burckhardt a. a. O. S. 9.

[4]) Burckhardt, Erfindung des Thermometers, Fig. IV.

[5]) Burckhardt, Ebendaselbst, Fig. V.

[6]) Commercio epist. III, S. 345. Vgl. Burckhardt, ebendaselbst, S. 15.

[7]) Burckhardt, Ebendaselbst, S. 19.

Galilei, die Bewegung der Flüssigkeit im Apparate rühre her von der von den Philosophen erwiesenen Eigenschaft der Kälte zusammenzuziehen, der Wärme auszudehnen. Bei der Abkühlung der Kugel würden die Wärmeteilchen, welche sich in der eingeschlossenen Luft befinden, in die Höhe steigen, weil ein weniger leichtes Mittel als sie vorhanden ist. Dadurch werde die Luft kälter und ziehe sich zusammen, der Wein aber dringe in den von ihr freigegebenen Raum ein, damit kein Vakuum entstehe.

Galilei hat demnach den bereits von Heron angestellten thermometrischen oder besser thermoskopischen Versuch wohl zuerst richtig gedeutet, zur Wärmemessung hat er ihn aber erst benutzt, nachdem Santorio den dazu geeigneten Weg als der erste eingeschlagen und für seine medizinischen Zwecke nutzbar gemacht hatte. Neben diesem zweiteiligen Thermoskop war nun aber auch ein einteiliges in ebenso häufigem Gebrauch. Es unterschied sich von jenem äußerlich nur dadurch, daß der untere Teil des Rohres wieder nach oben umgebogen und zu einer mit einer Öffnung versehenen Kugel erweitert war. Man hat dieses bisher für ein der einfacheren Handhabung wegen abgeändertes zweiteiliges Thermometer gehalten, wenn man auch keine geschichtliche Tatsache anführen konnte, die diese Abänderung wahrscheinlich zu machen geeignet war. Das Studium der Nationalausgabe der Galileischen Werke hat nun aber Wohlwill[1]) in den Stand gesetzt, nachzuweisen, daß wir es hier mit einer zweiten Erfindung zu tun haben, die auf Drebbel zurückzuführen ist, und die erst später durch die italienische Konstruktion beeinflußt wurde.

An Drebbels Namen knüpfen sich mancherlei fabelhafte Nachrichten an. Cornelis Drebbel (Drublerus) war 1572 zu Alkmaar geboren. Die nicht gerade schmeichelhafte Bezeichnung späterer Schriftsteller, Nollets u. a., die den in den Wissenschaften wohlbewanderten Mann zu einem Alkmaarschen Bauern macht, verdankt er wohl einem Verse, den Constantin Huygens, der Vater von Christian über ihn hinterlassen hat, und der in Burckhardts[2])

---

[1]) Wohlwill, Mitteilungen usw., Bd. I, S. 5.

[2]) Nach Burckhardts Übersetzung zur Geschichte des Thermometers, S. A. S. 4. Die Verse heißen im Urtext nach Chr. Huygens, Oeuvres complètes Tom. V, La Haye 1893, S. 122, Anm. 12:

Drebbelium vidi tantum, qui fronte Batavum
Agricolam, sermone sophum Samiumque referret
Et Siculum.

Übersetzung lautet: „Drebbel habe ich gesehen, wie er dem Aussehen nach den holländischen Bauer, der Rede nach den Samischen und Sikulischen Weisen darstellt.“ Er hatte in Leiden Mathematik und Physik studiert, war dann 1604 nach London, von da nach einigen Jahren zu Kaiser Rudolf II. nach Prag berufen, wo er aber gelegentlich der im Kaiserhause auftretenden Mißhelligkeiten gefangen gesetzt, dann aber durch Vermittlung König Jakobs I. von England wieder freigelassen wurde. 1619 kehrte er nach London zurück, ging aber dann wieder nach Prag, um die Erziehung der Söhne Kaiser Ferdinands II. zu übernehmen. Hier aber geriet er abermals in die größte Gefahr, aus der ihn indessen die Hilfe der Generalstaaten befreite. Er ging nunmehr wieder nach London, wo er wohlgelitten an Jakobs Hofe 1634 starb.

Recht zweifelhaft ist der Ruf, den er sich in der Geschichte der Wissenschaft als Erfinder errungen hat. Aber gerade die merkwürdigsten seiner Erfindungen, die ihm den größten Ruhm unter den Zeitgenossen eintrugen, hat die Wissenschaft der Gegenwart für unmöglich oder wenigstens für die Zeit, in der er lebte, für unmöglich erklärt. Es sind dieses sein Perpetuum mobile und sein Taucherschiff. Auch die Erfindung des Fernrohres und Mikroskops schrieb man ihm zu. Nichts bezeichnet Drebbels Verfahren besser als die Art, wie er mittels seines Taucherschiffes die Mitwelt in bewunderndes Staunen zu setzen suchte. Über sie liegen Berichte von den ersten Gelehrten ihrer Zeit, von Huygens, Boyle und Leibniz vor und alle drei glauben daran, daß der Wundertäter sich mit einem Schiffe, welches zwölf Ruderer außer den eigentlichen Passagieren barg, ganz unter den Spiegel der Themse versenkte, und erst an einem weit entfernten Ort wieder zum Vorschein gekommen wäre. Freilich kennen die genannten Männer die Versuche nur aus den Berichten anderer. Huygens hat sie seinem Vater erzählt, der sie selbst sah[1]), Boyle aber kennt sie aus dem Munde eines der überlebenden Passagiere, „der sie einem berühmten Mathematik vermitteilte, von dem ich selbst sie überliefert erhielt“[2]), Leibniz endlich hat sie von Boyle erfahren, dann aber selbst

[1]) Brief an Papin vom 2. November 1691, abgedruckt in Gerland, Leibnizens und Huygens Briefwechsel mit Papin nebst der Biographie Papins. Berlin 1881, S. 182 und Huygens Oeuvres complètes, T. X, La Haye 1905, S. 175.

[2]) Boyle, Nova Experimenta physico-mechanica de vi aëris elastica. Roterodami 1669, S. 320 ff.: »Ex quibus unus ad hunc usque diem superstes, rem magni nominis Mathematico tradidit, à quo ipse accepi.

Drebbels Tochter darüber befragt[1]), die mit einem geistvollen Arzte namens Kiefler, wie ihn Leibniz nennt, während ihn Wohlwill[2]), Kuflaer, Monconys[3]) Keiffer nennt, verheiratet war. Beeckmann, der ihn persönlich kannte, schrieb ihn in seinem handschriftlich vorhandenen Tagebuch, von dem sogleich weiter die Rede sein wird, Cuffler, so daß unter Berücksichtigung der holländischen Aussprache der Name, wie ihn Leibniz schreibt, dem deutschen Ohre geklungen haben muß[4]). Von diesem stammt offenbar die Erklärung des seltsamen Versuches, die wir bei unseren sämtlichen Gewährsmännern finden, Drebbel habe eine gewisse Quintessenz gehabt, die die Luft befähigt habe, auch nach längerem Eintauchen das Atmen zu unterhalten.

In ein ebenso tiefes Geheimnis sucht Drebbel auch die Einrichtung des Perpetuum mobile zu hüllen. Dies hat sich aber mit besserem Erfolg aufhellen lassen wie das Rätsel der magischen Quintessenz. Allerdings nicht aus der Schrift, die Drebbel 1604 unter dem Titel: De Elementis herausgab, denn der Versuch, den er dort angibt und auf den hin man ihm die Erfindung des Thermometers hat zueignen wollen, ist ein bereits von Heron angestellter[5]), anders verhält es sich mit dem Perpetuum mobile, über dessen Einrichtung erst die Veröffentlichung des Galileischen Briefwechsels Aufklärung gegeben hat.

Die erste Nachricht von Drebbels Aufsehen erregendem Apparat erhielt Galilei durch einen Brief, den der bereits erwähnte toskanische Gesandte in Prag, Giuliano de Medici, an ihn am 18. Oktober 1610 schrieb. Darin berichtete er von einem in immerwährender Bewegung befindlichen Instrument, welches ein Flamländer dem Kaiser zum Geschenk gemacht, während er bereits früher eines dem Könige von England verehrt habe. Es kann dies demnach nur Drebbel gewesen sein, das Instrument aber solle Wasser enthalten, das in einer wie in Mondform gebogenen feinen Röhre bald

---

[1]) Brief Leibnizens an Papin 1695. Gerland a. a. O., S. 204.

[2]) Wohlwill, Mitteilungen usw., Jahrg. I, S. 61.

[3]) Monconys, Journal de voyages. Lyon, 2. Aufl., 1695. Suite de la II. partie S. 75.

[4]) C. de Waard, De Uitvinding der Verrekykers. Rotterdam 1906, S. 282.

[5]) Burckhardt, Erfindung des Thermometers, S. 5.

aufwärts, bald abwärts von einer Seite zur anderen gehe[1]). Kepler glaube aber so lange nicht daran, bis er seine Einrichtung kennen gelernt habe. Obwohl Giuliano in einem späteren Briefe genaue Aufklärung zu geben verspricht, vielleicht auch gegeben hat, so ist uns diese nicht erhalten[2]) und wir sind hinsichtlich seiner Einrichtung auf andere Nachrichten angewiesen. Glücklicherweise besitzen wir solche über das dem Könige von England geschenkte Instrument in den Briefen, die Daniello Antonini aus Brüssel am 4. und am 11. Februar 1612 an Galilei schrieb, und von denen der letztere sogar eine Zeichnung davon gibt[3]). Danach bestand das Perpetuum mobile aus einer hohlen Metallkugel, die mittels eines Röhrchens mit einer kreisförmig um die Kugel gebogenen Glasröhre in Verbindung stand. Diese war durch eine Scheidewand hinter der Stelle, an welcher das Röhrchen eintrat, abgeschlossen, hinter der Scheidewand aber mit einem Loche versehen. Da diese Stelle mit Metallfolie bedeckt war, so vermutet Antonini, daß die Einrichtung in solcher Weise getroffen sei. Das nämliche hätte Drebbel erreicht, wenn er ein auf einer Seite geschlossenes, auf der anderen Seite offenes Glasrohr so zum Kreise gebogen und beide Enden zusammengebracht hätte. In das Rohr wurde nun etwas Wasser gebracht, welches die Luft in der Kugel und des mit ihr in Verbindung stehenden Rohrstückes abschloß, während das offene Ende des Rohres oder die von Antonini angenommene Öffnung der Luft freien Zutritt gestattete. Die sich bei steigender Temperatur oder bei geringer werdendem Luftdruck ausdehnende Luft trieb dann das Wasser vor sich her, bei entgegengesetzten Vorgängen drängte es die äußere Luft zurück. Der Apparat sollte freilich nach Drebbels an den König Jakob gerichtetem Begleitschreiben die Ebbe und Flut darstellen. Daß Drebbel vorgab, ein besonderes Wasser dazu zu nehmen, hatte wohl nur den Zweck, die Aufmerksamkeit der Beschauer von der Entdeckung des Wesens des Apparates abzuziehen.

Die Beschreibung dieses Apparates paßt nicht zu der Beschreibung, die Giuliano an Galilei gesendet hatte. Drebbel muß also dem Kaiser einen anders eingerichteten Apparat überbracht haben, der als Perpetuum mobile benutzbar war, und man wird vermuten dürfen,

[1]) Wohlwill, Mitteilungen usw., Bd. I, S. 57. Cannello fatto quasi in forma di luna.

[2]) Wohlwill, Ebendaselbst, S. 59.

[3]) Vgl. Wohlwill, Mitteilungen usw., Jahrg. I, S. 5.

daß er den früheren zu verbessern gesucht habe. Daß diese Vermutung richtig ist, ergibt sich aus einer Mitteilung, die wir Reyher verdanken. Samuel Reyher war 1635 in Schleusingen in der Grafschaft Henneberg geboren, war 1656 in Leipzig zum Magister der Philosophie, 1666 in Leiden zum Doktor der Jurisprudenz promoviert, nachdem er bereits 1665 außerordentlicher Professor der Mathematik in Kiel geworden war. 1673 erhielt er an dieser Universität eine außerordentliche und 1683 eine ordentliche Professur der Rechte. Er interessierte sich namentlich für meteorologische Beobachtungen, über welche er auch mit Leibniz in Korrespondenz stand. 1714 ist er in Kiel gestorben. In einer 1669 veröffentlichten Zusammenstellung der zu seiner Zeit im Gebrauch befindlichen Thermometer[1]) führt er auch „Drebbels Instrument zur Untersuchung von Ebbe und Flut" an und beschreibt es mit den Worten: „Es besteht aus zwei kleinen Kugeln, die durch ein halbkreisförmiges Röhrchen verbunden sind, in welchem die darin befindliche Flüssigkeit sich bald dem einen, bald dem anderen Kügelchen nähert." Eine beigegebene Zeichnung läßt erkennen, daß die eine Kugel geschlossen, die andere mit einer kleinen Öffnung versehen ist. Von den Kugeln redet nun freilich weder Giuliano, noch Monconys[2]), dem Drebbels Schwiegersohn 1663 in London das Instrument als »une liqueur renfermée dans un tuyau de verre courbé en demi-rond« beschrieb. Es ist also fraglich, ob Drebbel bereits die Kugeln an beiden Enden des Rohres angebracht hat. Für die Wirkung ist das gleichgültig, wahrscheinlich aber ist, daß er es tat[3]).

Bei dem Geheimnis, das Drebbel um sich und seine Werke verbreitete, ist es nicht festzustellen, ob er den Einfluß der Wärme auf die abgesperrte Luft erkannte. Man möchte es mit Bestimmtheit behaupten, wenn Antonini nicht dadurch, daß er am 4. Februar 1612 Galilei durch Wort und Bild das Instrument beschrieb, ihn nicht schon berücksichtigt hätte. Er suchte den Apparat, den Drebbel für den König Jakob verfertigt hatte, zu Messungen geeignet zu machen, indem er die mit Luft gefüllte Kugel mit einem geraden Glasrohr verband, hinter diesem aber „ein Täfelchen mit vielen Querlinien,

[1]) De Aëre praeside Samuele Reyhero disputabit Ericus Wildeshausen, Hamburgensis a. d. XI. Kalend. Novembris anni 1669, Kiliae Cap. VII. Nach der Übersetzung Wohlwills, Mitteilungen usw., Bd. I, S. 61.

[2]) Monconys, Journal des Voyages. Voyage d'Angleterre, S. 40.

[3]) Wohlwill, Mitteilungen usw., Bd. I, S. 62.

die gleich weit voneinander abstehen und durch Zahlen bezeichnet sind", anbrachte. Es ist uns schwer, den Apparat nicht als Thermometer aufzufassen. Antonini aber sagt ausdrücklich, daß er ihn nur benutzen wollte, um „die Bewegung aufzuzeichnen"[1]).

Daß er bald genug als Thermoskop diente, beweist der Streit, den der Lütticher Arzt van Heer 1624 mit van Helmont, von dem weiter unten ausführlicher die Rede sein wird, über die Verwandlung des Wassers in Luft, auszufechten hatte. Es handelte sich dabei um das Entweichen des gefärbten Wassers aus einem Apparat, der mit dem zweiten Drebbelschen Ähnlichkeit hatte. Nach van Helmonts Abbildung besteht er aus einer senkrecht gestellten, unten U-förmig gebogenen Glasröhre mit einem längeren und einem kürzeren Schenkel, die beide in Kugeln endeten. Die Kugel am langen Schenkel war geschlossen, die am kürzeren oben mit einer kleinen Öffnung versehen, in den längeren Schenkel aber war ein Flüssigkeitsfaden gebracht, der durch seine Bewegung erkennen ließ, welcher Teil des Hauses wärmer, welcher kälter sei"[2]). Van Helmont nahm die Konstruktion des Apparates für sich in Anspruch, doch ist nicht mit Sicherheit zu erweisen, daß er der „scharfsinnige Mathematiker" gewesen sei, der das Glas zuerst herstellte, auf den sich van Heer beruft[3]). Solche Instrumente müssen bald in allgemeineren Gebrauch gekommen sein, sonst hätte sie wohl kaum der poetische französische Glasbläser Jean Grillet in einem Gedicht behandeln können[4]). Bei seinem Apparat befand sich die untere Kugel in der Verlängerung des Rohres, wie auch noch bei dem, den Mersenne 1644 beschreibt[5]).

So tritt also der italienischen Erfindung eine holländische ebenbürtig an die Seite, dem zweiteiligen das einteilige Thermometer. Während jenes auf Galilei zurückzuführen ist, so geht dieses von Drebbel aus, und so war der Kölner Erzpriester Kaspar Ens

---

[1]) Galilei, Opere. Ed. Nazionale, Bd. XI, S. 270. Nach der Übersetzung Wohlwills, Mitteilungen usw., Bd. I, S. 146.

[2]) van Helmont, Ortus medicinae. Amstelodami 1648, S. 64. Wohlwill a. a. O., S. 149. Vgl. auch Strunz, Johann Baptist van Helmont. Leipzig und Wien 1907, S. 41.

[3]) Van Heer, Deplementum supplementi de Spadanis Fontibus. Vgl. Wohlwill a. a. O., S. 147.

[4]) Chemiker-Zeitung 1896, Jahrg. 29, S. 19.

[5]) Mersenni Minimi Cogitata physico-mathematica. Parisiis 1644, T. I, S. 143.

wohl berechtigt, 1628 in seinem Thaumaturgus mathematicus das Thermometer »Instrumentum Drebilianum« zu nennen, welche Bezeichnung in dem französischen Original, den Récréations mathématiques des Pater Leurechon, woraus er seine Kenntnisse schöpfte, nicht angewendet war, ebenso wie Huygens, der 1664 dem italienischen Instrument das Drebbelsche gegenüberstellt[1]). Nach dem Vorgeführten dürfen wir daraus den Beweis für Drebbels Anteil an der Erfindung des Thermometers nehmen, während man früher, als man über die Gesamtheit der angeführten Literatur noch nicht verfügte, Ens für die Einführung der Legende, die sich an des Alkmarer Namen anknüpfte, verantwortlich machen zu müssen glaubte[2]). Bei der Leichtigkeit, mit der man die Beobachtungsweise des zweiteiligen Thermometers auf die des einteiligen übertragen konnte, indem man anstatt des Flüssigkeitsfadens so viel Flüssigkeit verwendete, daß die untere, offene Kugel zum Teil damit gefüllt war, verwischte sich bald der Unterschied, doch aber sehen wir in den Récréations mathématiques, dem Buch, in dem zum ersten Male der Name Thermometer gebraucht wird, noch beide Apparate nebeneinander abgebildet[3]).

ζ) Die Erfindung des Fernrohres und des Mikroskops. Janßen und Lippershey.

Wie über die Erfindung des Thermometers, so glaubte man bis in die neueste Zeit auch über die des Fernrohres und Mikroskops vollständig unterrichtet zu sein. Man glaubte sich berechtigt, es für eine Erfindung eines Middelburger Brillenmachers zu halten, über dessen Namen die Meinungen freilich auseinander gingen, von der dann Galilei erfahren und sie allerdings selbständig nachgebildet habe. Auch hier haben neuere Veröffentlichungen andere Ergebnisse gezeitigt, weniger freilich die nationale Ausgabe von Galileis hinterlassenen Schriften, als eine Reihe von Untersuchungen, die de Waard[4]) in Middelburg und anderen holländischen Orten angestellt hat. Während Oudemans und Bosscha den Anteil Galileis an der so

---

[1]) Huygens, Oeuvres complètes. T. V, La Haye 1893, S. 127.

[2]) So noch Wohlwill, in Poggendorffs Annalen 1869, Bd. 124, S. 163.

[3]) S. auch Schwenter, Mathematische Erquickstunden, Nürnberg 1636, S. 456. Das Buch ist die Übersetzung der Récréations mathématiques in die deutsche Sprache.

[4]) C. De Waard, De Uitvinding der Verrekykers. Rotterdam 1906.

wichtig gewordenen Erfindung möglichst gering einschätzen[1]), schließt Favaro eine Studie über sie mit den Worten: „Wenn Gutenberg die Buchdruckerkunst erfunden hat, so ist ganz gewiß Galilei der Erfinder des Fernrohrs"[2]). Stellen wir also die Nachrichten zusammen, die geeignet sind, Licht in diese Frage zu bringen.

Die Schrift, die in einwandsfreier Weise die Erfindungsgeschichte des Fernrohrs zu geben schien, war das 1655 erschienene Werk des Leibarztes Ludwigs XIV., Peter Borels (1628 bis 1689)[3]). Konnte sich sein Verfasser doch auf das Zeugnis des damaligen niederländischen Gesandten Wilhelm Boreel berufen, der, 1591 in Middelburg geboren, in seiner Jugend mit der Familie des Brillenmachers verkehrt hatte, dem die Erfindung nachgerühmt wurde, sowie sich auf das Zeugnis stützen, das seine Schwester und sein Sohn am 16. März 1655 vor dem Bürgermeister und Rat der Stadt Middelburg abgelegt hatten. Die älteste amtliche Urkunde aber ist in den Akten der Generalstaaten enthalten, die einem anderen Brillenmacher eine größere Summe für ein Fernrohr bewilligten[4]). Daraufhin hält van Swinden[5]) den letzteren, Hans Lippershey, für den Erfinder, während Harting[6]) auf Grund der Mitteilungen Wilhelm Boreels den Zacharias Janßen dafür erklärt. Aber noch ein dritter Bewerber um den Ruhm der Erfindung des Fernrohres tritt auf, Jakob Metius, den Cartesius[7]) dafür hält, und dem die

---

[1]) J. A. C. Oudemans und J. Bosscha, Galilée et Marius. Archives Néerlandaises des Sciences naturelles. Ser. II, Tome VIII, 1903, S. 130.

[2]) A. Favaro, La Invenzione del Telescopio secondo gli ultimi Studi. Atti de Reale Istituto Veneti di Scienze, Lettere ed Arti 1906—1907. Tom. 66, Parte II (S. 54 des Separatabzugs): Se Gutenberg ha inventata la Stampa, certamente Galileo è l'inventore del telescopio.

[3]) P. Borellus, De vero Telescopii inventore cum brevi omnium conspiciliorum historia. Hagae-Comitum MDCLV.

[4]) De Waard a. a. O., S. 203, 221.

[5]) Geschiedkundig onderzoek naar de eerste uitvinders der verrekykers uit de aanteekeningen van wylen den hoogleeraar van Swinden samengesteld door G. Moll 1. Klasse van het Koninklÿk Nederlandsch Instituut 1831, Deel 3. S. 103 ff.

[6]) Harting, De twee gewigtigste Nederlandsche uitvindingen op natuurkundig Gebied. Album der Natuur. 1859, S. 323 ff., 355 ff. Auch Het mikroskoop. Utrecht 1850, Deel III, S. 32.

[7]) Cartesius, De methodo, Dioptrice et Meteora. Amstelodami 1692, S. 49. Zuerst 1637 von ihm in französischer Sprache veröffentlicht.

Generalstaaten am 17. Oktober 1608 gleichfalls eine Summe zur Vervollkommnung des Instrumentes bewilligten[1]).

Middelburg hatte am Ende des 16. Jahrhunderts, begünstigt durch den Niedergang von Antwerpen, einen mächtigen Aufschwung genommen. Viele Flüchtlinge hatten sich aus der reichen Handelsstadt, namentlich nach ihrer Übergabe an die Herzogin von Parma im Jahre 1585 nach Seeland begeben und seiner Hauptstadt einen sehr bedeutenden Bevölkerungszuwachs gebracht. Ihre Übersiedelung verursachte, daß Middelburgs Handel und Gewerbe einen staunenswerten Aufschwung erhielten, denn es waren nicht die schlechtesten Bürger, die ihren bisherigen Wohnort verließen. Die nunmehrige Bedeutung des Platzes zog aber auch Einwanderer aus anderen Ländern heran, und namentlich war es die Middelburger Kristallglasfabrik, die ihre Arbeiter vielfach aus Italien erhielt, wo die Glasschleiferei und Glasbläserei bereits von alters her mit bestem Erfolg geübt wurde; und was von Italien im allgemeinen galt, das galt ganz besonders auch für Venedig, dessen Glasprodukte Weltruhm genossen.

Lippershey (Lipperseim, Laprey) war in Wesel geboren, war nach Middelburg eingewandert, wo er sich 1594 verehelichte und bis zu seinem 1619 erfolgten Tode das Geschäft eines Brillenmachers ausübte[2]). Er war nicht der einzige Vertreter dieses Erwerbzweiges, an der anderen Seite der neuen Kirche, an deren einer er seine Geschäftsräume hatte, wohnte ein zweiter, der um 1585 aus Antwerpen eingewanderte Hans der Brillenmacher, dem wahrscheinlich der Name Hans Martens zukam[3]). Martens war freilich kein Familienname, sondern bedeutete lediglich Sohn des Martin, und so hieß denn auch Hans' Sohn, der den Taufnamen Zacharias erhalten hatte, Sacharias Janßen (Zacharias Joannides). Wenn sie nun auch in Middelburg ihren ständigen Wohnsitz hatten, so scheinen sie doch die Märkte anderer Städte bezogen zu haben und so erklärt sich die Angabe, daß Sacharias 1588 in 's Gravenhage geboren worden ist[4]). In Middelburg war der 1591 geborene Willem Boreel sein Spielgenosse und so glaubte Peter Borel, als er es unternahm, die Erfindungsgeschichte des Fernrohrs darzu-

[1]) De Waard a. a. O., S. 211.
[2]) De Waard a. a. O., S. 190.
[3]) De Waard a. a. O., S. 116.
[4]) De Waard a. a. O., S. 323 u. 330.

stellen, nichts besseres tun zu können, als daß er sich an den aus Middelburg, dem Ort des ersten Auftretens des neuen Instrumentes, stammenden holländischen Gesandten wandte und ihn um die nötigen Aufklärungen bat. Boreel nahm die Sache ernsthaft genug und wandte sich in einem vom 8. Januar 1655 datierten Schreiben an den Bürgermeister und den Rat seiner Vaterstadt um amtliche Bestätigung seiner Erinnerungen. Diese geben in Übereinstimmung mit dem in dem Jahre 1618 erschienenen, aber bereits mehrere Jahre früher geschriebenen Werk des Sirturus über das Teleskop[1]), sowie den Angaben des Pater Schyrlaeus in seinem Oculus Enoch[2]) an, daß ein Unbekannter sich in Lippersheys Laden Linsen ausgesucht und diese zu einem Fernrohr zusammengestellt habe, daß Lippershey sich aber die Art dieser Linsen gemerkt und so zu der Erfindung des Fernrohrs gelangt sei[3]). Die Erkundigungen, die der Rat daraufhin bei älteren Einwohnern Middelburgs einzog, sprachen, bis auf eine Aussage, die Zacharias Janßen für den Erfinder erklärte, zugunsten Lippersheys[4]). Dadurch aber scheint die Angelegenheit bekannt geworden zu sein, und nun meldeten sich der Sohn und die Schwester von Zacharias Janßen, um mitzuteilen, daß dieser ihnen oft erzählt habe, daß das Fernrohr 1590 in Middelburg erfunden gewesen sei, die Rohre hätten damals höchstens eine Länge von 16 Zoll gehabt, 1618 aber habe er die langen Rohre erfunden[5]). In seinem Schreiben an Peter Borel nimmt nun Willem Boreel diese Auskunft als die zu Recht bestehende an, bezieht aber die kurzen Rohre auf das Mikroskop und nur die langen auf das Fernrohr[6]), während der Empfänger des Briefes auch die kurzen als Fernrohre ansieht. Da Willem Boreel die Nachrichten von Middelburg am 3. März erhielt, sie aber erst am 9. Juli weiter gab, so hält es De Waard für möglich[7]),

---

[1]) Hieronymi Sirturi Mediolanensis Telescopium. Francofurti 1618, S. 24. Vgl. De Waard a. a. O., S. 192. Sirturus war ein Schüler Galileis und beschäftigte sich mit gutem Erfolg mit der Herstellung optischer Gläser.

[2]) A. M. Schyrlaeus de Rheita, Oculus Enoch et Eliae seu Radius sidereo-mysticus. Antverpiae 1645, Lib. IV. Vgl. de Waard, S. 6.

[3]) De Waard a. a. O., S. 10, wo der Brief abgedruckt ist.

[4]) De Waard a. a. O., S. 14, wo der Brief abgedruckt ist.

[5]) De Waard a. a. O., S. 140, wo der Bericht abgedruckt ist.

[6]) De Waard a. a. O., S. 18.

[7]) De Waard a. a. O., S. 21.

daß er auch noch anderweitig Erkundigungen eingezogen habe, worüber uns freilich nichts überliefert ist.

Wie verhält es sich nun mit dem Anteil, den Metius an der Erfindung des Fernrohrs genommen hat? Auch ihm hatten die Generalstaaten eine Summe angewiesen, aber sie war nur ein Dritteil von der, die Lippershey erhielt und dazu wurde er ermahnt, zu arbeiten, daß er seine Erfindung zu größerer Vollkommenheit bringen sollte. Man hat in ihm den Unbekannten vermutet, welcher zu Lippershey kam und ihm dadurch, daß er sich die dazu gehörigen Gläser aussuchte, die Erfindung des Fernrohres verriet. Des Cartes tritt in der Tat für seine Anrechte ein. „Vor ungefähr 30 Jahren," erzählt er[1]), „lebte der aus der holländischen Stadt Alkmaar gebürtige Jakob Metius, ein Mann, der in den Wissenschaften sehr erfahren war, da sein Vater und sein Bruder ihn in der Mathematik unterrichtet hatten. Dessen größtes Vergnügen war, Brennspiegel und -gläser zu schleifen; einige stellte er auch im Winter aus Eis her, ein Stoff, der erfahrungsgemäß dazu keineswegs unbrauchbar ist. Da er dadurch viele Gläser und namentlich solche verschiedener Form zur Hand hatte, so hielt er zufällig einmal zwei zugleich vor das Auge, von denen eines in der Mitte dicker als am Rande war, das andere dickere Ränder wie die Mitte hatte; er brachte sie in so glücklicher Weise an die beiden Enden eines Rohres an, daß so das erste Fernrohr, von dem wir reden, entstand." Daraus geht hervor, daß Metius sich mit optischen Versuchen beschäftigt hat. Daß er aber dann nach Middelburg reiste, um sich Linsen zu kaufen und nicht in das seiner Heimat viel nähere Amsterdam, würde für De Waards Annahme sprechen, daß Janßen der erste war, der in Holland Fernrohre baute. Das war wohl bekannt geworden, und nun beabsichtigte Metius, sich bei ihm Rats zu erholen, ver-

[1]) Renati Descartes Specimina Philosophiae. Ultima Editio. Amstelodami 1692, S. 49. Dioptrices Cap. I, 1: Ante annos circiter triginta quidam Jacobus Metius vixit Alcmariae (quae civitas est Hollandiae) natus; homo humaniorum artium prorsus expers; licèt patrem et fratrem Matheseos cultores habuerit. Hujus summa voluptas erat specula et vitra ustoria formare; nonnulla etiam hyeme componens ex glacie; quae materies, experientiâ teste, non omnino ad id inepta est. Quum igitur hac occasione multa, eaque variae formae vitra ad manum haberet, prospero quodam fato duo simul oculo objecit; quorum alterum medium paulò crassius habebat quàm extremitates, alterum vice versâ extremitates quàm medium multò tumidiores; et adeò feliciter illa duabus tubi extremitatibus applicuit, ut primum de quo loquimur telescopium inde exstiterit.

fehlte aber seinen Laden und geriet in den Lippersheys, der, wie wir sahen, in der Nachbarschaft von jenem gelegen war[1]).

De Waards Annahme wird durch eine Aufzeichnung Beeckmans in seinem während der Jahre 1612 bis 1635 geführten Tagebuch, dessen der Veröffentlichung noch harrende Handschrift in der Provinzialbibliothek von Zeeland aufbewahrt wird, bestätigt. Sein Verfasser war 1588 in Middelburg geboren, hatte sich 1618 als Arzt dort niedergelassen, wurde später Konrektor der lateinischen Schule zu Utrecht, dann an der zu Rotterdam und starb 1637 als Rektor der Lateinischen Schule zu Dordrecht. Da er sich schon früh für das Fernrohr interessiert hatte, suchte er selbst eines zu verfertigen und ließ sich 1634 (vielleicht schon gegen 1622) die dazu nötigen Gläser schleifen, als Johannes Sachariassen seines Vaters Werkstatt bereits übernommen hatte. Im Juni 1634 schrieb nun Beeckman in sein Tagebuch[2]): „Johannes Sacharias sagt, daß sein Vater das erste Fernrohr hierzuland im Jahre 1604 nach dem eines Italieners machte, worauf stand: anno 1590.“ Danach wäre das Fernrohr in Italien erfunden, in Middelburg nur nachgemacht worden[3]). Dafür scheint auch das Zeugnis des Florentiner Philosophen und Astronomen Raffael Gualterotti (1543 bis 1639) zu sprechen, der am 24. April 1610 sofort nach Kenntnisnahme des im März desselben Jahres erschienenen Sternenboten (Nuncius Sidereus) an dessen Verfasser schrieb[4]), daß er bereits 1598 ein Fernrohr nach der Angabe eines italienischen Kriegsmannes (un cavaliere in giostra e in guerra) zusammengestellt und dem Großherzog von Toskana und dem Herzog von Braccia gezeigt habe. Die Beschreibung ist freilich

[1]) De Waard a. a. O., S. 210.

[2]) De Waard a. a. O., S. 154: »Johannes Sacharias seght, dat syn vader den eersten verrekyker maekte hier te lande anno 1604 naer eene van eenen Italiaen, daerop stont: ‚anno1590‘.« Im Original, das De Waard in Photographie mitteilt, steht allerdings nur 190. Doch wird de Waard zugeben müssen, daß dort die 5 vergessen ist, da sonst der Schluß sinnlos sein würde. Auch paßt die Jahreszahl sehr gut zu den Mitteilungen, die Johannes Sachariassen dem Rat von Middelburg machte.

[3]) Die von Madler in den „Historische Denkwürdigkeiten des Gasthauses zum Riesen in Miltenberg“ (4. Aufl., Miltenberg 1901) ausgesprochene Behauptung, Janson (!) habe das Fernrohr in Miltenberg erfunden, entbehrt jeglicher Begründung und beruht nur in der Einbildung des Verfassers.

[4]) Le Opere di Galileo Galilei. Edizione nazionale, Vol. X. Firenze 1900, No. 300.

so unvollkommen, daß man an ein Sehrohr denken würde, wenn nicht Gualterotti ausdrücklich von Gläsern redete, die in »una cerbottana« eingesetzt werden sollten. Die Möglichkeit, daß die italienische Erfindung nach Middelburg überbracht wurde, ist freilich nicht von der Hand zu weisen, denn italienische Kriegsleute, aber auch, wie wir sahen, in der Glastechnik wohlbewanderte italienische Arbeiter kamen in großer Zahl dorthin. Die Erfindung des Fernrohrs würde demnach insofern der der Uhren und des Kompasses an die Seite zu stellen sein, als sie von Arbeitern gemacht wurden; und daß dabei wohl auch der Zufall seine Hand im Spiele hatte, dafür spricht die bekannte Anekdote, daß die Wissenschaft eines ihrer wichtigsten Hilfsmittel mit Linsen spielenden Kindern verdanke. Um eine verkäufliche Ware, ein wirklich gutes Fernrohr, zu erhalten, waren dann freilich eine Reihe Verbesserungen notwendig, und so mag Gualterottis Fernrohr zu astronomischen Beobachtungen auch noch nicht brauchbar gewesen sein, sonst hätte er dann doch wohl einige der Entdeckungen, die nachher Galilei zufielen, vorweg genommen. Somit wird man sich der Ansicht Favaros anschließen können, die er dahin ausspricht[1]), daß „man fast sagen kann, keine biete so wie sie (die Entdeckung des Fernrohrs) den Anblick einer so zahlreichen Schar von Bewerbern, wobei sich wiederum bestätigt, was man nachgerade als unbestreitbare Tatsache zugeben muß, nämlich, daß die großen Erfindungen niemals das Werk eines einzelnen, sondern das Ergebnis der vereinigten Bemühungen einer langen Reihe von Arbeitern gewesen sind." Bedenkt man, daß schon Roger Baco von der Vereinigung zweier Linsen eine bedeutende Vergrößerung erhofft, aber durch den Versuch nicht verwirklicht hatte, so müßte es doch mit sonderbaren Dingen zugegangen sein, wenn nicht einmal ein Brillenmacher, der doch fortwährend Linsen der verschiedensten Art unter den Händen hatte, den Versuch zwei Linsen voreinander zu halten, gemacht hätte, wobei ihm die Eigenschaft des holländischen Fernrohres, die Gegenstände aufrecht zu zeigen, sehr zustatten kommen mußte. Da man die beiden Gruppen von Linsen, hohle und erhabene für die kurzsichtigen und alterssichtigen Augen brauchte, so lag es wohl am

[1]) Favaro, La Invenzione del Telescopio, S. 2. Così che possa quasi dirsi che nessuno offra al pari di esse lo spettaculo d'una folla tanto numerosa di pretendenti, verificandosi ancora una volta quello che ormai deve ammettersi come indiscutibile, cioè che le grandi invenzioni non sono mai opera di un solo, ma la risultante degli sforzi accumulati di una lunga successioni de lavoratori.

nächsten, insbesondere die Wirkung der beiden zu untersuchen. Dann aber ist die Frage nach dem Erfinder des Fernrohres die bei weitem weniger wichtige, in viel höherem Maße kommt es auf die Anbringung von Verbesserungen an. Dürfen wir nun seinem Sohne glauben, so war wiederum Zacharias Janßen der erste, dem solche gelungen, denn seit dem Jahre 1618 fertigte er neben den kurzen auch lange Fernrohre an, die für die Beobachtungen der Sterne und des Mondes im Gegensatz zu jenen brauchbar waren[1]). Diese Fernrohre nun für astronomische zu halten, wie es Harting[2]) und De Waard[3]) tun, ist durch nichts begründet. Zwar beruft sich Harting auf ihre Länge von 10 bis 12 Fuß und die Erzählung, daß die spielenden Kinder durch ihre Linsen ein umgekehrtes Bild erhalten hätten. Die alten Akten wissen über beide Umstände nichts und wenn auch ihre Möglichkeit zugegeben werden muß, so ist doch die Wahrscheinlichkeit jener Annahme eine überaus geringe. Anderseits ist es aber auch möglich, daß auch Lippershey selbständig auf die Herstellung dieser verbesserten Fernrohre kam, die nun überall, wohin sie die Händler brachten, verdientes Aufsehen erregten; durch sie wurde Galileis Aufmerksamkeit auf das Problem gerichtet, das von ihm zu einem wissenschaftlichengestaltet wurde.

Er hat uns selbst erzählt, daß er im Jahre 1609 in Venedig, wo er sich damals befand, hörte, daß ein Belgier oder Holländer ein »Perspicillum« erfunden habe, mit dessen Hilfe es möglich sei, weit entfernte Gegenstände so betrachten zu können, als ob sie nahe wären, eine Nachricht, die ihm ein paar Tage darauf von Paris bestätigt wurde. Nach Padua zurückgekehrt, machte er sich daran, mit Hilfe der Lehre von der Brechung des Lichtes auch seinerseits die Aufgabe zu lösen und kam auf die nämliche Linsenkombination, wie sie das holländische Fernrohr auch aufwies. Sein Fernrohr richtete er sogleich auf den Mond, die Planeten, den Fixsternhimmel und häufte Entdeckungen auf Entdeckungen, die er auch alsbald durch den Druck bekannt machte. Unterdessen hatte sich das neue Instrument nach Frankreich, England und Spanien verbreitet und auch nach Italien waren von Holland aus solche geschickt worden. Es wäre nicht undenkbar, daß Galilei eine Beschreibung erhalten, oder daß er eines der Fernrohre

[1]) De Waard, De Uitvinding der Verrekykers, S. 14.

[2]) P. Harting, Oude optische Werktuigen. Album der Natuur 1867, S. 257 ff.

[3]) De Waard a. a. O., S. 304.

vielleicht gesehen habe. Um nur einige der uns erhaltenen Nachrichten hervorzuheben, sei erwähnt, daß bereits im Mai 1609 nach Sirturus Mitteilung[1]) ein Kaufmann — Sirturus nennt ihn einen Franzosen, De Waard[2]) möchte ihn für Sacharias Janßen halten, — Fernrohre nach Mailand brachte, und in demselben Jahre Peter Scolier aus Belgien mit einem solchen über Venedig nach Rom reiste, um es seinem früheren Lehrer Malcotio zu zeigen[3]). Bald wurde es auch überall, wo es Brillenmacher gab, angefertigt. Doch aber erreichten diese Instrumente die Güte der Galileischen keineswegs, und so ergingen namentlich von fürstlichen Personen immer wieder Aufträge an ihn, Fernrohre zu liefern.

Dafür, daß seine Fernrohre die übrigen seiner Zeit weit übertrafen[4]), besitzen wir mancherlei Zeugnisse, von denen einige, die von Holländern stammen, angeführt werden mögen. Noch am 26. Januar 1637 schrieb der Professor der Mathematik in Amsterdam, Martinus Hortensius, dessen Urteilsfähigkeit in der in Rede stehenden Angelegenheit wohl niemand bezweifeln kann: „Hier haben wir angefangen, uns mit dem Teleskop zu beschäftigen und erfahren, daß gegenwärtig keine in Holland vorhanden sind, welche eine solche Schärfe gewährleisten können, wie sie für die Beobachtungen (der Jupitersmonde) erforderlich ist. Denn die besten pflegen die Scheibe des Jupiter struppig und schlecht begrenzt zu zeigen, weshalb die Trabanten in seiner Nähe nicht genau gesehen werden können..... Obgleich wir nun nicht zweifeln, daß sie vom Teleskop Eurer Herrlichkeit gezeigt werden, so sehen wir nicht, wie wir in Holland solche ausgezeichnete erhalten sollen, da wir alle Künstler als unwissend und in der Dioptrik völlig unerfahren erfunden haben"[5]). Ebenso äußerte sich Konstantin

[1]) Hieronymi Sirturi Telescopium etc., S. 24.

[2]) De Waard, De Uitvinding der Verrekykers, S. 233.

[3]) Huygens, Oeuvres complètes II. La Haye 1889, S. 490.

[4]) Siehe hierüber Favaro, La invenzione del Telescopio. S. 49 ff.

[5]) Le Opere di Galileo Galilei. Edizione Nationale Vol. XVII, S. 19: Hinc de telescopio agere coepimus, comperimusque nulla in Batavia hodie, quae tantam praecisionem polliceri queant quanta ad eas observationes requiritur: solent enim etiam optima discum Iovis hirsutum offerre et male terminatum, unde Ioviales in eius vicinia non recte conspiciuntur:.... Quod et si a telescopio Dominationis vestrae haud dubitaremus praestari, non tamen vidimus quomodo in Holandia tam exquisita possemus nancisci, quandoquidem omnes artifices rudes experimur et dioptricae quam maxime ignaros.

Huygens in einem in demselben Jahre an Elias Diodati gerichteten Brief[1]). Auch die in der Tribuna di Galilei in Florenz noch erhaltenen seiner Fernrohre beweisen ihre Güte; eines davon besitzt bei 15 bis 20 maliger Vergrößerung eine große Lichtstärke[2]).

Solchen Zeugnissen gegenüber wird es nicht angehen, Galileis Kenntnisse von der Wirkungsweise der Linsen allzu gering anzuschlagen. Freilich gingen seine Kenntnisse davon, als er das Fernrohr konstruierte, nicht über die der Zeitgenossen hinaus, erschien doch Keplers Dioptrik erst 1611. Indem er sich aber auf experimentelle Grundlage stellte, gelang es ihm, die entgegenstehenden Schwierigkeiten in viel vollkommenerer Weise zu lösen, als den nur handwerksmäßig gebildeten Brillenmachern. Den Gedankengang aber, wie er auf dieselbe Linsenkombination, welche das holländische Fernrohr aufwies, gekommen ist, hat er des öfteren beschrieben[3]) und ich habe bereits 1892 dargetan[4]), daß sich die Verbindung der konkaven mit der konvexen Linse am einfachsten ergeben mußte, wenn man von der damals vollständig bekannten Tatsache ausging, daß das konkave Glas die von dem konvexen konvergent gemachten Strahlen divergent macht und also deren Ausgangspunkt und damit das Bild dem konkaven Okular nähert, so daß diese Linsenkombination einen entfernteren Gegenstand unter einem größeren Gesichtswinkel erscheinen ließ. Man hat also durchaus nicht nötig, wie es jetzt vielfach geschieht, anzunehmen, daß Galilei in Venedig nicht nur von der Wirkungsweise des Fernrohrs gehört habe, daß ihm vielmehr bereits die Beschreibung bekannt geworden sei, ja daß er vielleicht gar das dort hingebrachte Fernrohr gesehen und nur nachgemacht habe.

Die größere Vollkommenheit des Galileischen Fernrohrs bliebe dann freilich noch der Erklärung bedürftig, vielleicht aber ergibt sich diese aus einer Bemerkung, die sich auf S. 86 recto des bereits erwähnten Manuskriptes von Beeckman findet[5]). Er erzählt da, daß er am 13. August 1618 bei dem dortigen Professor der Mathematik in einem

---

[1]) Ebenda, S. 69.

[2]) Favaro, Intorno ai cannochiali costruiti ed usati da Galileo Galilei. Atti di Reale Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed arti 1900—1901, Bd. 60.

[3]) So im Nuncius sidereus, dann aber namentlich in der Streitschrift gegen Grassi. Le Opere di Galileo Galilei. Edizione Nazionale, Vol. VI, S. 258.

[4]) Gerland, Geschichte der Physik. Leipzig 1892, S. 102.

[5]) De Waard, De Uitvinding der Verrekykers. S. 179.

Buch[1]) die Abbildung eines Fernrohres von der Art, wie sie Galilei hatte, gesehen habe mit zwei Gläsern, aber verschiedenen Diaphragmen, deren Wirkung er freilich darin sieht, daß dadurch das zerstreute Licht gesammelt werde. Dann aber fährt er fort, daß in Middelburg einer Fernrohre ohne Diaphragmen machte, durch welche die Gegenstände zwar größer erscheinen, aber undeutlich (obscurae). So scheint es nicht unmöglich, daß die größere Schärfe der Bilder der Galileischen Fernrohre auf der Anwendung von Diaphragmen beruhte. Das ausziehbare Okular aber haben einem Briefe Portas vom 28. August 1609 an Fürst Cesi zufolge wohl bereits die holländischen Fernrohrmacher angewendet[2]).

Es erübrigt noch den Vorwurf, den man Galilei deshalb machen zu können glaubte, daß er nicht, wie später Campani und Huygens seine Linsen selbst geschliffen habe[3]), auf seinen wahren Wert zurückzuführen. Er hatte, wie wir aus seinem Briefwechsel mit Sagredo wissen[4]), sehr geschickte Glasbläser, Bacci, Antonio all insegno di S. Lorenzo in Frezzaria an der Hand, wie denn damals auch die Keramik Italiens in hoher Blüte stand, die einem Manuskript Piccolpassis zufolge bereits 1548 metallische Niederschläge auf Töpferwaren herstellen konnte[5]). Trotzdem hat er Vorrichtungen erdacht, mit deren Hilfe die Linsen geschliffen werden sollten. So schrieb er am 19. August 1610 noch von Padua an Kepler unter Bezugnahme auf das Fernrohr, mit dem er seine Entdeckungen am Himmel gemacht hatte: „Von gleicher Vortrefflichkeit habe ich kein anderes gebaut, denn die Ausführung ist sehr mühsam, aber ich habe einige Maschinen, um es herzustellen und zu polieren ausgedacht, welche ich hier nicht ausführen wollte, da sie nicht nach Florenz gebracht werden könnten, wo in Zukunft mein Wohnort sein wird"[6]); und aus einem Briefe vom

[1]) De Waard vermutet, daß dieses Buch das 1618 erschienene des Sirturus: Telescopium etc. gewesen sei.

[2]) Le Opere di Galileo Galilei. Edizione Nazionale, Vol. X, Firenze 1900, No. 230. Vgl. de Waard a. a. O., S. 234.

[3]) I. A. C. Oudemans et I. Bosscha, Galilée et Marius. Archives Néerlandaises des Sciences naturelles. Sér. II, Tome VIII, S. 130.

[4]) Le Opere di Galileo Galilei. Edizione nazionale, Vol. XI, Nr. 915.

[5]) L. Franchet, Annales de Chimie et de Physique 1907. 8 Sér., Tome XII, S. 277.

[6]) Ebendaselbst, Vol. X, S. 349: »Paris excellentiae nullum aliud construxi, praxis enim est valde laboriosa: verum machinas nonnullus ad illa configuranda atque expolienda excogitavi, quae hic construere nolui, cum exportari non possent Florentiam ubi in posterum mea futura est sedes.«

1. Oktober desselben Jahres an den florentinischen Gesandten am Kaiserlichen Hofe Giuliano de Medici ersehen wir, daß dazu aufgemauerte Vorrichtungen nötig waren[1]). Dann aber wird man nur an eine Einrichtung zum Schleifen der Linsen denken können, denn zum Montieren des Rohres waren Mauerungen offenbar nicht nötig. Ob er solche Einrichtungen dann in Florenz getroffen hat oder ob die von den Glasschleifern von Handwerk ihm gelieferten Linsen seinen Zwecken genügten, darüber ist uns freilich nichts überliefert.

Nach dem Dargelegten erscheint es nicht angängig, Galilei den Erfinder des Fernrohres zu nennen, selbst wenn man mit Favaro[2]) zur Rechtfertigung einer solchen Behauptung das Beispiel Gutenbergs, der dann auch nicht als Erfinder der Buchdruckerkunst gelten dürfe, heranzieht. Wenn er auch nicht der Erfinder gewesen ist, so wird man doch zugeben müssen, daß die von ihm angebrachten Verbesserungen das Fernrohr erst zu wissenschaftlichem Gebrauche fähig machten und man wird deshalb nicht anstehen, sie höher einzuschätzen, als die von den Erfindern geleistete Arbeit.

In seinem Brief an Peter Borel hatte, wie erwähnt, Wilhelm Boreel mitgeteilt, daß Hans Martens, der Vater von Sacharias Janßen vor der Erfindung des Fernrohrs das Mikroskop erfunden habe, und man hat die Angabe Jans Sachariassen, daß sein Vater zuerst kurze, dann lange Fernrohre herstellte, solange nicht das jetzt zur Verfügung stehende Material bekannt war, so deuten zu müssen geglaubt, daß das kurze Rohr das Mikroskop, das lange das Fernrohr gewesen sei. Diese Annahme wird sich freilich jetzt nicht mehr halten lassen, auch hat, wie wir sahen, Peter Borel sie nicht geteilt.

Dagegen hat sich ergeben, daß Galilei schon 1610 sein Fernrohr zum Mikroskop umgestaltete, das dann freilich eine sehr bedeutende Länge erhielt. Wenigstens erzählt einer von seinen Schülern, der Schotte Johannes Wodderborn, in einer in diesem Jahre in Padua erschienenen Schrift, daß damals sein Meister bereits mikroskopische Beobachtungen angestellt habe, während dieser erst im Saggiatore über solche Beobachtungen Mitteilung macht[3]). Aber nicht dieses lang ausgezogene holländische Fernrohr ist es, welches man unter dem Namen Mikroskop versteht, es ist vielmehr das aus zwei

[1]) Ebendaselbst, Vol. X, S. 440.

[2]) Favaro, La invenzione del Telescopio, S. 54.

[3]) De Waard a. a. O., S. 294.

Sammellinsen hergestellte, und ein solches hatte auch der zur Accademia dei Lincei gehörende Giovanni Faber im Auge, als er zuerst diese Bezeichnung anwendete. Dieses aber scheint in Italien und in Holland erfunden worden zu sein, nachdem man das astronomische Fernrohr bereits in Gebrauch genommen hatte.

Die erste Beschreibung dieses Instrumentes, welches das holländische Fernrohr sehr rasch überflügelte, findet sich in der 1611 im Druck erschienenen Dioptrik Keplers, von der noch ausführlich die Rede sein wird. Kepler hat es freilich nur auf theoretischem Wege gefunden, zur Ausführung hat er es nicht gebracht. Den Anspruch, dies als erster im Jahre 1608 getan zu haben, erhebt der Jesuit Francesco Fontana, der 1580 in Neapel geboren, 1656 daselbst an der Pest starb. Aber er teilte seine Erfindung erst im Jahre 1646 in dem in seiner Vaterstadt erschienenen Werke: Novae coelestium terrestriumque rerum observationes et fortasse hactenus non vulgatae mit. Daß er es bereits im Jahre 1629 besaß, geht aus einem Schreiben, das Fabio Colonna an den Fürsten Cesi richtete, hervor. Wenn es nun auch bei der damals bereits häufigen Anwendung bikonvexer Gläser zu Brillen gewiß möglich ist, daß er es bereits 21 Jahre früher zusammensetzte[1]), so ist es doch befremdend, daß er erst so spät seine Erfindung bekannt machte. Er scheint das auch selbst gefühlt zu haben, denn er fügt seiner Schrift die Zeugnisse seiner beiden Ordensgenossen Zupus und Sirsalis zu, nach denen der erste 1614, der zweite kurz nach 1625 das Fernrohr gesehen hat. Die späte Veröffentlichung ist um so befremdender, als in die Zwischenzeit der Streit Galileis mit dem Jesuiten Grassi und das Erscheinen des Saggiatore fällt, in dem auf die Erfindung des Fernrohrs das größte Gewicht gelegt wird. Man sollte meinen, Fontana hätte diese Gelegenheit schwerlich vorübergehen lassen, um dem den Jesuiten so verhaßten Paduaner Professor die Entdeckung abzusprechen, wenn sie ihm soviel früher gelungen war. Aber wie dem auch sein mag, Kepler hat die Idee des astronomischen Fernrohrs soviel früher als Fontana bekannt gegeben, daß man wohl berechtigt ist, es das Keplerische zu nennen, während es wohl zu weit gegangen sein möchte, wenn ihm Poggendorff[2]) das Recht jeglicher Beachtung seiner Ansprüche abspricht.

---

[1]) De Waard a. a. O., S. 281 ff.

[2]) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 196.

Wie nun das holländische, so konnte auch das astronomische Fernrohr als Ausgangspunkt zur Herstellung eines Mikroskopes dienen. Auch auf diese Erfindung macht Fontana Anspruch und setzt sie auf S. 145 seines obengenannten Werkes in das Jahr 1618 und auch dieses gesehen zu haben bezeugt 1625 Sirsalis. Auch die Möglichkeit dieser Erfindung des neapolitanischen Jesuiten ist nicht anzuzweifeln, bekannt gemacht aber hat er seine Erfindung nicht. So erwähnt Sirturus in seinem 1618 geschriebenen Werk über das Teleskop des Mikroskops von Fontana noch nicht, was er wohl nach Christian Huygens' Ansicht[1]) nicht unterlassen haben würde, wenn ihm die „ausgezeichnete Erfindung" bekannt gewesen wäre, und als im Jahre 1622 ein Verwandter Drebbels oder seines Schwiegersohnes Jakob Küfler mit Empfehlungsbriefen des Aixer Parlamentsrates Peiresc (1580 bis 1637) ein Mikroskop des holländischen Wundermannes nach Rom brachte[2]), konnte man mit dem neuen Instrumente nicht zurechtkommen, und es mußten erst die Anweisungen abgewartet werden, die Peiresc in einem Briefe vom 3. März 1624 gab, um seine Anwendung zu verstehen[3]). Zufolge eines Briefes, den Giovanni Faber am 11. Mai des nämlichen Jahres an den Fürsten Cesi schrieb[4]), war aber am 10. Mai Galilei mit seinen Mikroskopen nach Rom gekommen und dort mag er das neue Mikroskop kennen gelernt haben, denn kurze Zeit danach sandte er solche an verschiedene Freunde, bemerkte aber, daß ihm die Herstellung der richtigen Linsen große Mühe gemacht habe[5]), so daß die frühere Annahme, Galilei habe das von Küfler hinterlassene Mikroskop damals zuerst erklärt, fallen gelassen werden muß. Fontana sah dann 1625 die neuen Mikroskope in Rom[6]), in welchem Jahre das Mitglied der Accademia dei Lincei, Francesco Stelluti, die ersten systematischen Beobachtungen damit über die Honigbiene anstellte[7]). Um diese Zeit

---

[1]) Hugenii Dioptrica, opuscula posthuma, Tom. I. Amstelodami 1728, S. 170 (in der 1. Ausgabe S. 221).

[2]) Govi, Il microscopio composto inventato da Galilei. Atti della Reale Accademia delle scienze fisiche e matematiche di Napoli, Ser. II, Vol. II, Napoli 1888, S. 1 ff. Vgl. De Waard a. a. O., S. 299.

[3]) Govi a. a. O., S. 23.

[4]) Govi a. a. O., S. 3.

[5]) Vgl. De Waard a. a. O., S. 301.

[6]) Govi a. a. O., S. 16 u. 32. Vgl. Waard, S. 302.

[7]) Stellutus, Apiarum etc., Romae 1625.

muß es auch Scheiner kennen gelernt haben, denn im 2. Buch seiner Rosa ursina, die von 1626 bis 1630 erschien, preist er in der damals üblichen übertreibenden Schilderungsweise das „wunderbare Mikroskop, mit welchem eine Fliege zu einem Elephanten und ein Floh zu einem Kameel vergrößert wird, und das was sonst durch seine Kleinheit der Schärfe des Blickes entgeht, als groß erscheint"[1]).

Wie aber kam Drebbel zu seinem Mikroskop? Hat er es selbständig erfunden oder vom Erfinder übernommen? Auf diese Frage die Antwort zu geben, ist schließlich noch zu versuchen. Johannes Sachariassen hatte 1655 dem Rate der Stadt Middelburg mitgeteilt, daß sein Vater vor 1618 ein Fernrohr dem Prinzen Moriz von Oranien, dem damaligen Statthalter der Niederlande, ein anderes ebensolches dem Erzherzog Albrecht von Österreich, dem Regenten der belgischen Provinzen zum Geschenk gegeben habe. Beide Instrumente nennt aber Wilhelm Boreel Mikroskope und erzählt, daß ihm, als er 1609 in England Gesandter gewesen sei, Cornelius Drebbel das Instrument gezeigt habe, welches ihm der Erzherzog zum Geschenk gegeben hatte[2]). Peter Borel stellt dagegen hinsichtlich der den beiden Fürsten geschenkten Instrumente die Angaben des Sohnes von Sacharias Janßen wieder her, nennt aber trotzdem Drebbel den Erfinder des Mikroskops[3]). Liest man nun eine von Beeckmann 1620 niedergeschriebene Bemerkung[4]), die erwähnt, „solch' eine Brille, durch welche man sehen kann, daß ein Floh einen Schwanz hat," dann möchte man zu der Annahme geneigt sein, daß bereits am Ende des ersten Jahrzehnts des 17. Jahrhunderts das Mikroskop ein allgemein bekanntes Instrument war. Doch geht aus Beeckmanns Worten keineswegs hervor, daß er das zusammengesetzte Mikroskop im Auge gehabt habe, man möchte ihrem Wortlaute nach eher an das einfache denken und dies um so mehr, als es in der

---

[1]) Scheiner, Rosa Ursina. Bracciani 1626 bis 1630 erwähnt das Mikroskop in Lib. II, Cap. 28, S. 122 und sagt Lib. II, Cap. 30, S. 130: »Admirabile Microscopium, quo musca in Elephantum et pulex in Camelum amplificatur, et ea quae alias paruitate oculiaciem effugiunt, magna comparent.

[2]) P. Borel, De vero Telescopii inventore Hagae Comitum, S. 34. Der Brief ist abgedruckt bei Waard a. a. O., S. 18 und in Wildes Geschichte der Optik, Bd. I. Berlin 1838, S. 147.

[3]) P. Borel a. a. O., S. 20.

[4]) De Waard a. a. O., S. 297.

Folgezeit zunächst ausschließlich zur Anwendung kam. Wenn wir also auch werden annehmen müssen, daß das zusammengesetzte Mikroskop mit zwei Sammellinsen von den Holländern selbständig erfunden worden ist, so läßt sich doch nicht entscheiden, ob dies durch Janßen oder durch Drebbel geschah. Letzterer wurde von vielen für den Erfinder gehalten, wie Huygens, dessen Vater 1621 und 1622 in London mit Drebbel verkehrt hatte, seinem Sohne wohl mitgeteilt haben mochte, obwohl er zufügt, daß nichts entgegenstehe, daß beide (Fontana und Drebbel) durch Zusammenstellung der Sammellinsen dazu gekommen sein könnten, auch wenn sie in optischen und geometrischen Lehren ganz unbewandert waren[1]). Wenn demnach auch der oder die Erfinder des Mikroskops nicht mit Gewißheit angegeben werden können, so ist die Zeit der Erfindung doch mit aller Sicherheit in die letzten Jahre des zweiten Jahrzehnts des 17. Jahrhunderts zu setzen, und es wird auch hier als das Wahrscheinlichste anzusehen sein, daß sie, wie die des Fernrohrs und Thermometers unabhängig voneinander in Italien und in den Niederlanden gelang. Immerhin war Drebbel derjenige, der, unterstützt durch seine Verwandten, für die Verbreitung des neuen Apparates sorgte, wie denn Jakob Küfler einige Mikroskope als Geschenk von Drebbel Peiresc überbrachte, der den Alkmarer für den Erfinder hielt[2]).

η) Galileis physikalische Arbeiten.

Außer den Arbeiten, die das Feststellen von Temperaturen und die Verbesserung der Fernrohre zum Zwecke hatten, hat Galilei auch eine ganze Reihe anderer hinterlassen, welche auf physikalischem Gebiete liegen. Dazu gehören gerade die, durch welche er die Wissenschaft am meisten förderte, die über mechanische Probleme. „Die Entdeckungen der Jupitertrabanten, der Venusphasen, der Sonnenflecken usw. erforderten nur Teleskope und Fleiß,“ sagt über sie La-

---

[1]) Huygens, Dioptrica. Opuscula posthuma, Tom. I, Amstelodami 1738, S. 170. Die Stelle heißt: »Anno autem 1621. Apud Drebelium nostratem conspecta fuisse microscopia hujusmodi Londini in Britannia, ipsi qui adfuerunt saepe mihi narraverunt, ipsumque primum auctorem eorum tunc habitum. Nihil vetat autem, quin ambo ex varia lentium compositione huc devenerint, etsi causarum in his rebus et omnis Geometriae ignari.«

[2]) Gassendi, Viri illustris Claudii de Peiresc etc. Parisiis 1641, S. 7.

grange[1]), „aber es bedurfte eines außerordentlichen Geistes, um die Gesetze der Natur in Erscheinungen zu entwirren, die man stets vor Augen gehabt hatte, deren Erklärung aber nichtsdestoweniger den Nachforschungen der Philosophen immer entgangen war." Es wird also geboten sein, daß wir sie in einem besonderen Abschnitte behandeln, vorher uns aber zur Betrachtung seiner Arbeiten auf akustischem und optischem, sowie dem Gebiete des Magnetismus wenden.

Auf seine akustischen Versuche war er durch die Beobachtung schwingender Körper gekommen. Er hat ihre Ergebnisse im ersten Tage der Discorsi zusammengefaßt. Den Widerstand, den ein schwingender oder sich rasch durch die Luft bewegender Körper erfährt, führte er auf die Rauhigkeit oder Porosität seiner Oberfläche zurück, welche in der Luft Reibung erzeugen sollten. So sollte das dabei hörbare Brausen entstehen, das bei einem Höhlungen oder Erhebungen besitzenden Körper in ein Pfeifen und Zischen übergehe. Der Pfeifton einer in der Luft geschwungenen Rute, der um so tiefer ausfällt, je langsamer sie sich durch die Luft bewegt, ist ihm ein Beweis dafür, daß die Rauhigkeiten an ihrer Oberfläche an die Luft anstoßen. Der Donner aber verdankt seine Entstehung der ungeheuren Schnelligkeit, mit der der ihm vorausgehende Blitz zur Erde fährt[2]). Die Beobachtung aber, daß ein ruhendes, noch so schweres Pendel durch Anblasen, eine riesige Kirchenglocke durch rechtzeitig erfolgende schwache Antriebe durch einen einzigen Mann in Schwingungen versetzt werden kann, gibt ihm dann die Erklärung dafür an die Hand, daß Saiten der Zither und des Cimbalos durch andere tönende Saiten zum Mittönen angeregt werden können, wenn diese gleichgestimmt sind oder ihre Eigentöne im Verhältnis der Oktave oder der Quinte stehen. Die Schwingungen versetzen die Luft in Mitbewegung und diese überträgt den Anstoß auf die benachbarten Saiten und auf diese Weise können auch Borsten, die an nicht zum Mitschwingen geeignete Körper befestigt sind, beim Ertönen eines bestimmten Tones in Schwingungen geraten. Ja, auch Becher aus feinem Glase verhalten sich ebenso, und umgekehrt kann ein solcher, wenn man ihn durch Anstreichen seines Randes mit dem feuchten Finger zum Tönen bringt, in dem in ihm enthaltenen Wasser regelmäßige feine Wellen

[1]) Lagrange, Mécanique analytique. Nouvelle Ed. Paris 1811, Vol. I, Abt. II, Sekt. I. Nach der Übersetzung von Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik, 3. Aufl., Leipzig 1887, S. 36.

[2]) Galilei, Discorsi, 1. Tag. Ostwalds Klassiker, Nr. 11. Leipzig 1890, S. 78.

erzeugen, die noch schöner werden, wenn man den Becher mit dem Fuß in ein größeres Wasser enthaltendes Gefäß stellt. Sprang dabei der Ton in die Oktave über, so zerfiel die Wasserwelle in zwei Wellen, und er schloß daraus, daß die Höhe des Tones von der Anzahl der Schwingungen in gleichen Zeiten abhänge. Eine zufällige Beobachtung führte ihn dann auf ein Mittel, diese Wellen festzuhalten. „Ich schabte," so beschreibt er diese, „mit einem scharfen eisernen Meißel eine Messingplatte, um einige Flecke fortzuschaffen und bei schnellem Hinübergleiten über die Platte hörte ich ein oder zweimal unter vielen Streichen ein Pfeifen, und zwar einen starken, hellen Ton, und wie ich auf die Platte sehe, erblicke ich eine Menge feiner paralleler Striche in völlig gleichen Abständen." Diese wurden nur hervorgerufen, wenn zugleich ein Ton gehört wurde. Beim höheren Tone waren die Striche gedrängter wie beim tieferen. „Bei den tönenden Streichzügen," heißt es weiter, „fühlte ich den Meißel in meiner Faust erdröhnen und die Hand durchzuckte ein Schauer[1])." Es ist dies wohl die erste, wenn auch noch sehr unvollkommene Beobachtung der Klangfiguren, mit denen sich fast 200 Jahre später Chladni so eingehend beschäftigt hat[2]), und Galilei glaubt, daß die Luft in ähnlicher Weise das Trommelfell zum Mitschwingen anrege und dadurch die Tonempfindung hervorrufe. Im weiteren beschäftigt er sich mit den Mitteln, die geeignet sind, den angerissenen Saiten höhere Töne zu entlocken. Unter Beibehaltung einer und derselben Saite ist dies auf dreierlei Art möglich, „durch Verkürzung, durch Spannung und durch Unterstützung", so zwar, daß sich die Schwingungszahlen umgekehrt wie die Saitenlängen verhalten, nimmt man aber verschiedene Saiten, so ist bei gleicher Länge und Spannung deren Gewicht maßgebend. Muß also von zwei Darm- oder Messingsaiten die eine den vierfachen Querschnitt der anderen haben, um die tiefere Oktave zu geben, so muß eine Metallsaite, die die tiefere Oktave einer Darmsaite geben soll, nicht den vierfachen Querschnitt, wohl aber das vierfache Gewicht haben, demnach entsprechend dünner sein. Den Grund der Konsonanz zweier Töne aber sieht er darin, daß sie in einer gewissen Ordnung das Trommelfell erschüttern, weil ihre Schwingungszahlen in einem rationalen Verhältnisse stehen, die Knorpel des Trommelfelles sich also nicht in steter Qual befinden,

[1]) Galilei a. a. O., S. 88 ff.

[2]) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 268 meint freilich, daß diese Erscheinung mit den Klangfiguren nichts gemein habe.

in verschiedener Richtung auszuweichen und den auseinandergehenden Schlägen zu gehorchen. Das Widrige der Dissonanz entsteht dagegen aus den nicht zusammentreffenden Erschütterungen, die zwei verschiedene Töne erzeugen, welche ohne bestimmtes Verhältnis das Trommelfell erregen. Dies erläutert er an dem Beispiel dreier Pendel — es waren Bleikugeln, die an Fäden hingen, — deren Längen sich wie 16 : 9 : 4 verhielten, von denen also das längste in der nämlichen Zeit zwei Schwingungen vollführte, in der das kürzeste vier, das mittlere drei zustande brachte. Wurden alle drei zugleich aus dem Lot entfernt und losgelassen, so zeigten sie ein wirres Durcheinander der Fäden, aber bei jeder vierten Schwingung des langen Pendels kamen alle drei zugleich an und begannen alsdann eine neue Periode[1]).

Hat so Galilei den Anschauungen seiner Zeit über das Wesen des Tones einiges Neue hinzugefügt, so ist dasselbe von seinen Arbeiten über das Licht in viel beschränkterer Weise zu behaupten. Immerhin zweifelte er daran, daß sich das Licht instantan ausbreite und schlug vor, zur Entscheidung dieser Frage Versuche anzustellen. Den Weg, den er dazu einschlug, schildert er folgendermaßen[2]): „Von zwei Personen hält eine jede ein Licht in einer Laterne oder etwas dem ähnlichen, so zwar, daß ein jeder mit der Hand das Licht zu- und aufdecken könne; dann stellen sie sich einander gegenüber auf in einer kurzen Entfernung und üben sich, ein jeder dem andern sein Licht zu verdecken und aufzudecken, so zwar, daß, wenn der eine das andere Licht erblickt er sofort das seine aufdeckt; solche Korrespondenz wird wechselseitig, mehrmals wiederholt, so daß bald ohne Fehler beim Aufdecken des einen sofort das Aufdecken des andern erfolgt, und wenn der eine sein Licht aufdeckt, er auch alsobald das des andern erblicken wird. Eingeübt in kleiner Distanz, entfernen sich die beiden Personen mit ihren Laternen bis auf 2 oder 3 Meilen; und indem sie nachts ihre Versuche anstellen, beachten sie aufmerksam, ob die Beantwortung ihrer Zeichen in demselben Tempo wie zuvor erfolge, woraus man wird erschließen können, ob das Licht sich instantan fortpflanzt; denn wenn das nicht der Fall wäre, so müßte in 3 Meilen Entfernung, also auf 6 Meilen Weg hin und her, die Verzögerung ziemlich gut bemerkbar sein. Und wollte man den Versuch in noch größerer Entfernung anstellen, in 8 oder

---

[1]) Galilei, Discorsi, 1. Tag, S. 88 bis 92.

[2]) Galilei a. a. O., S. 39 ff.

10 Meilen, so könnte man Teleskope benutzen.... Ich habe den Versuch nur in geringer Entfernung angestellt, in weniger als einer Meile, woraus noch kein Schluß über die Instantaneität des Lichtes zu ziehen war."

Von noch geringerer Bedeutung sind Galileis Ansichten über den Magnetismus, die er im dritten Tag des 1629 geschriebenen Dialogs über die beiden Weltsysteme vorträgt, während Gilberts grundlegendes Werk De magnete bereits 1600 erschienen war.[1]) Über dessen Versuche gingen die, von denen Galilei berichtet, in keiner Weise hinaus, er hat künstliche Magnete hergestellt von für damalige Zeit bedeutender Kraft, natürliche Magnete mit Armaturen versehen und deren Wirkungen erklärt, aber damit dem damals Bekannten nichts Neues zugefügt.

9) Galilei und die Bewegungslehre.

Wie wir sahen, war Galilei in Padua als Professor der Mathematik angestellt und so hatte er sich denn auch dort bereits mit dem Teile der Physik, welcher zu seiner Zeit wohl allein die Anwendung der Mathematik gestattete, der Mechanik, eingehend beschäftigt. Fand er für diesen Zweck auch viel mehr Arbeiten, die er benutzen konnte vor, wie man früher glaubte, so hat er deren Ergebnisse doch in solcher Weise weiter ausgeführt, daß er wohl das Recht dazu hatte, in seinem letzten Werke von zwei neuen durch ihn zugänglich gemachten Wissenszweigen, welche die Mechanik und die Fallgesetze betrafen, zu reden. Schon früh hat er auch über mechanische Probleme geschrieben, aber seine ersten Arbeiten blieben damals Manuskripte und sind erst in den Sammlungen seiner Werke, die Alberi und später Favaro veranstalteten, im Drucke erschienen. So zunächst sein Kommentar zu Aristoteles' Schrift De Coelo, die ihn noch als Peripatetiker erscheinen läßt, obwohl sie bereits die Bekanntschaft mit den Schriften Cardanos und Scaligers verrät, sodann in einer Schrift de Motu, über die Bewegung, von der er 1612 einen Teil in Dialogform brachte, weiter eine Schrift: Delle Meccaniche, die als sein Kollegheft aus dem Jahre 1594 anzusprechen ist, und von der sich ein Manuskript in den Archiven der Familie Thurn und Taxis in Regensburg befindet, welches

[1]) Heller irrt, wenn er meint, daß Gilbert die Neigung der Magnete gegen die Erdpole noch unbekannt gewesen sei. Geschichte der Physik, Bd. I, Stuttgart 1882, S. 371.

der Fürst Hermann von Fürstenberg, der 1646 ein Schüler Kirchers in Rom war, mit nach Deutschland brachte[1]). Es wurde bereits 1646 vom Pater Mersenne und 1649 vom Ritter Luca Danese veröffentlicht, von dem letzteren unter dem Titel: Della Scienza Meccanica, e della utilità che si traggono dagl' instrumenti di quella; opera del Signor Galileo Galilei, con uno frammento sopra la forza della percossa (Über die Mechanik und den Nutzen, den man aus ihren Instrumenten ziehen kann; ein Werk des Herrn Galileo Galilei, mit einem Bruchstück über die Kraft des Stoßes), ist aber 1899 in seiner ursprünglichen Fassung von Favaro herausgegeben[2]). Die wichtigsten Schriften, welche mechanische Probleme behandeln, hat er selbst herausgegeben. Es sind der 1612 gedruckte Discorso al Serenissimo Don Cosimo II, Gran Duca di Toscana, intorno alle cose che stanno in su l'acqua, o che in quella si muovono, di Galileo Galilei, filosofo e matematico della medesima Altessa Serenissima (Dem erhabensten Don Kosimo II., Großherzog von Toskana gewidmet über die auf Wasser schwimmenden oder sich darin bewegenden Körper von Galileo Galilei, Philosophen und Mathematikers der genannten Hoheit), der bereits gelegentlich seiner Verurteilung erwähnte Dialogo di Galileo Galilei delle due massimi Sistemi del Mondo, il Ptolemaico et il Copernicano (Gespräch Galileo Galileis über die beiden wichtigsten Weltsysteme, das des Ptolemaios und das des Kopernikus), in dessen zweitem „Tag" sein Verfasser die Grundlagen der Statik und namentlich die Gleichgewichtsbedingungen am Hebel behandelt, und endlich sein reifstes Werk, die Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla Meccanica ed ai movimenti locali, Leida 1638 (Gespräche und mathematische Erläuterungen über zwei der Mechanik und der räumlichen Bewegungen der Körper angehörende neue Wissenschaften). Ob er dies letzte in meisterhaftem Stil geschriebene Werk bereits vor 1637, in welchem Jahre er erblindete, vollendet oder ob er es wenigstens zum Teil nach seiner Erblindung diktiert hat, wissen wir nicht. Da er aber so trübe Erfahrung hatte machen müssen, so war es seine Absicht, „fortan keine seiner Studien zu veröffentlichen, sondern nur, damit dieselben nicht gänzlich begraben blieben, sie hand-

[1]) P. Duhem, Les origines de la Statique. Tome I. Paris 1905, S. 239.

[2]) Favaro, Delle Meccaniche lette in Padova l'anno 1594 da Galileo Galilei. Memorie del Reale Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Vol. XXVI, No. 5, 1899.

schriftlich niederzulegen an einem Orte, der vielen Fachkennern zugänglich wäre[1])". Er hatte deshalb eine Abschrift an den Grafen di Noailles gesandt und war im Begriff, sie auch noch weiter zu versenden, als er unversehens von der Firma Elzeviri benachrichtigt wurde, daß seine Arbeit unter der Presse sei, und daß er die Widmung einsenden sollte. Sein Gönner hatte das Manuskript durch Vermittlung Le Comtes[2]) in das protestantische Holland gesendet, wo der Druck ungehindert erfolgen konnte. 1655 erschien es dann auch mit zwei von Galilei selbst noch redigierten Zusätzen in Bologna in einer Ausgabe, die mit der 1811 in Mailand herausgegebenen wörtlich übereinstimmt. 1699 wurde es in das Lateinische übersetzt; 1890 bis 1891 von A. v. Oettingen nach der Ausgabe von 1655 in das Deutsche übertragen, welche Übersetzung nun als 11., 24. und 25. Band eine Zierde von Ostwalds Klassikern bildet.

Galilei begann seine wissenschaftliche Laufbahn, indem er sich der peripatetischen Lehre anschloß. Während er sie nun in seinen Vorträgen stets beibehielt, setzten ihn einige seiner Arbeiten dazu in Gegensatz, in andern kam er dagegen kaum darüber hinaus. Gilt dieses nun hauptsächlich von seinen frühesten Arbeiten, so ist doch auch in seinem letzten und reifsten Werke, den Discorsi, die Scholastik nicht ganz überwunden, schon deshalb nicht, weil er in sie Teile seines Erstlingswerkes De motu wörtlich aufgenommen hat, so daß er diese in lateinischer Sprache dem übrigen italienisch geschriebenen Texte zusetzte. Erschwert nun dieser Umstand bereits in hohem Maße die Darstellung seiner Leistungen, so erhöht sich diese Schwierigkeit noch dadurch, daß er die Arbeiten seiner Vorgänger nur selten erwähnt, während wir doch vermuten müssen, daß er sie benutzt hat. Je mehr diese nun bekannt wurden, um so mehr häuften sich die Vorwürfe, daß er deren Verdienst sich unrechtmäßigerweise habe aneignen wollen, Vorwürfe, die man ebenso Cartesius gemacht hat. So wurde man je länger, je mehr dahin geführt, Vivianis Apotheose des verehrten Meisters als völlig unberechtigt anzusehen und doch kann man anderseits nicht vorsichtig genug sein, wenn man das Andenken des Märtyrers der Wissenschaft seinem Verdienste nach würdigen will. Gewiß hat er vieles von

[1]) Übersetzung von A. v. Oettingen, Ostwalds Klassiker, Bd. 11, Leipzig 1890, S. 128 aus der Widmung Galileis an di Noailles.

[2]) Viviani, Vita di Galileo Galilei, Firenze 1717. Vgl. Duhem a. a. O., S. 237.

seinen Vorgängern entlehnt, aber er hat das, was er so übernahm, vielfach selbsttätig weiter gebildet, meist Neues hinzufügend, genau so, wie es diejenigen, welche gegenwärtig die Träger des Fortschrittes der Naturwissenschaften sind, auch zu tun pflegen.

Aristoteles hatte gelehrt, daß eine Kraft nicht allein nach dem Gewicht eines Körpers beurteilt werden kann, sondern auch nach der Geschwindigkeit, die sie dem schweren Körper erteilt. Diese Lehre nimmt Galilei an, aber er gibt ihr eine präzisere Form. So erklärt er 1612 in seinem Discorso intorno alle cose che stanno in su acqua etc., daß er zwei ganz gleichen Gewichten, welche sich mit der nämlichen Geschwindigkeit bewegen, in allen ihren Wirkungen dieselbe Kraft, dasselbe Moment zuschreibe, und daß die Kraft der Schwere mit der Geschwindigkeit des bewegten Körpers in solcher Weise wächst, daß ganz gleichschwere Körper, welche sich mit verschiedener Geschwindigkeit bewegen, ungleiche Kraft entwickeln, verschiedene Momente haben. Den hier zuerst angewendeten Begriff des Momentes erklärt er dahin, „daß eines Körpers Impuls, Energie, Moment oder Bewegungstendenz ebensogroß ist wie die Kraft oder wie der geringste Widerstand, der hinreicht zum Gleichgewicht",[1]) eine Tendenz, die nicht nur von der einfachen Schwere, sondern auch von der Geschwindigkeit der Bewegung abhängt. Besonders deutlich dürfte die folgende Stelle seine Meinung wiedergeben: „Moment bedeutet bei den Mechanikern jene Eigenschaft, jene Kraft, jene Wirksamkeit, mit welcher der Motor bewegt und der bewegte Körper widersteht, welche Kraft nicht allein von dem einfachen Gewicht abhängt, sondern von der verschiedenen Neigung der Bahn, auf welcher die Bewegung vor sich geht; denn ein Gewicht, das auf einer sehr abschüssigen Fläche sich abwärts bewegt, bewirkt einen stärkeren Andrang als auf einer weniger geneigten, und was schließlich auch die Ursache jener Eigenschaft sei, so behält sie auf alle Fälle die Bezeichnung Moment. Auch scheint mir nicht, daß dieser Sinn neu ist in unserer Sprache; denn wenn ich nicht irre, scheint es mir, daß wir ziemlich häufig sagen: das ist eine wichtige Sache, aber die andere ist von geringem Moment"[2]). So zeigte er wohl zuerst die Abhängigkeit des in obiger Weise von ihm erklärten Momentes von

---

[1]) Galilei, Discorsi, 3. Tag. Ostwalds Klassiker, Nr. 24. Leipzig 1891, S. 29.

[2]) Galilei, Opera, Padova 1744, Bd. I, S. 191, nach der Übersetzung von Laßwitz. Vgl. Geschichte der Atomistik, 2. Bd. Leipzig 1890, S. 26.

der Geschwindigkeit. Man wird in seiner Erklärung die »gravitas secundum situs« des Nemorarius leicht wiedererkennen. Galilei benutzt sie zu einem neuen Beweis des längst bekannten Hebelgesetzes. Dazu setzt er mit Archimedes voraus, daß gleiche Gewichte an gleichlangen Armen im Gleichgewicht seien, hängt eine Stange in ihrem Halbierungspunkte auf und daran mittels zweier an seinen Endflächen befestigter Schnüre einen prismatischen Körper von etwa gleicher Länge wie der Stab. Das ganze System ist dann offenbar im Gleichgewicht. Schneidet man nun das Prisma an irgendeiner Stelle durch und befestigt an der Schnittstelle an beiden Prismen eine dritte Schnur, so wird daran nichts geändert und man kann abermals ohne das Gleichgewicht zu stören, die drei Schnüre durch zwei ersetzen, von denen man eine jede in der Mitte der beiden ungleichen Prismenstücke anbringt. Es hat dann keine Schwierigkeit, zu beweisen, daß sich nun die Gewichte der Prismen umgekehrt wie die Arme, an denen sie wirken, verhalten. Dieses so für immateriell betrachtete Gestalten bewiesene Gesetz wird aber eine gewisse Änderung erleiden durch Hinzunahme von Materie und Schwere. Wie diese letzteren zu berücksichtigen sind, führt er dann am Beispiel eines durch Anbringung einer Unterstützung als zweiarmigen Hebel wirkenden Hebebaums aus, der einen Felsen heben soll und entwickelt den Satz, daß alsdann das Moment der Kraft zu dem Gesamtgewicht des zu hebenden Teiles des Felsens im zusammengesetzten Verhältnis der betreffenden Hebelarme steht.[1]) Galileis Beweis des Hebelgesetzes kommt ersichtlich mit dem überein, den auch Stevin gegeben hat. Nun waren die Beghinselen der Weeghkonst 1586 erschienen, freilich in holländischer Sprache, aber bereits 1605 in lateinischer Übersetzung. Daß diese letztere Galilei kannte, dürfen wir wohl annehmen, wenn wir auch den Beweis dafür nicht erbringen können. Da ihn Galilei erst 1638 in den Discorsi mitteilt, so gebührt auf alle Fälle Stevin die Priorität.

Auch hinsichtlich der Wirkungsweise der schiefen Ebene ist Stevin Galilei zuvorgekommen. Da der letztere aber die Ergebnisse seiner Untersuchungen bereits in seine Schrift De motu aufgenommen hat, also zu einer Zeit, in der des ersteren in Betracht kommende Schrift lediglich in holländischer Sprache vorlag, so ist nicht anzunehmen,

[1]) Galilei, Discorsi etc., 2. Tag. Ostwalds Klassiker, Nr. 11. Leipzig 1890, S. 95 ff.

daß er bei seinen Arbeiten von diesem beeinflußt war. Wohl aber zeigt er sich abhängig von Leonardo, Benedetti und Cardano und demnach, wie diese von Nemorarius. Die Versuchsanordnung ist die nämliche wie die von Leonardo zuerst angegebene, der zwei Körper, die eine über eine Rolle gehende Schnur verband, sich auf zwei unterhalb des Aufhängepunktes der Rollen zusammenstoßende schiefe Ebenen im Gleichgewicht halten ließ, dieselbe also, die auch Regiomontan benutzte. Die Frage aber, deren Beantwortung dieser forderte, klärte Galilei in der nämlichen Weise auf, wie es in unsern Lehrbüchern noch geschieht, daß er das Moment (im Sinne Galileis) des auf der schiefen Ebene gleitenden Körpers, der von einem senkrecht hängenden Gewicht, das an einem über eine Rolle gehenden Faden befestigt ist, im Gleichgewicht gehalten wird, in zwei Teilmomente längs und senkrecht zur schiefen Ebene zerlegt, wobei sich dann ergibt, daß das Partialmoment des Körpers längs der schiefen Ebene sich zu seinem Totalmoment, d. i. seinem Gewichte verhält, wie die Höhe zur Länge der schiefen Ebene. Da nun Galilei die schiefe Ebene benutzen wollte, um die Sätze, die er über den freien Fall aufgestellt hatte, zu prüfen, so bewies er nun nicht nur den Satz: „Wenn längs einer geneigten Ebene, sowie längs der Senkrechten gleicher Höhe ein und derselbe Körper aus der Ruhelage sich bewegt, so verhalten sich die beiden Fallzeiten zu einander wie die Länge der geneigten Ebene zur Länge der Senkrechten"[1]), sondern er führt auch eine Reihe weiterer Sätze auf, namentlich den: „Die Geschwindigkeitswerte, welche ein und derselbe Körper bei verschiedenen Neigungen einer Ebene erlangt, sind einander gleich, wenn die Höhe dieser Ebenen einander gleich sind"[2]). Diesen letzteren sucht er durch einen sehr hübschen Versuch[3]) mittels eines Pendels zu erweisen, dessen Länge durch Anwendung eines in die Wand, vor der es schwingt, eingeschlagenen Nagels dann verkürzt wird, wenn es in seinem tiefsten Punkt die größte Geschwindigkeit erreicht hat. Daraus ersieht man, daß er die Bewegung des Pendelkörpers als einen Fall über eine Reihe kleiner schiefer Ebenen betrachtete. Ist der Satz also richtig, so muß der Körper des nicht verkürzten Pendels ebenso hoch steigen wie der des verkürzten, was der Versuch in der Tat ergab.

---

[1]) a. a. O., 3. Tag. Ostwalds Klassiker, Nr. 24. Leipzig 1891, S. 31.

[2]) Ebenda, S. 18. — [3]) Ebenda, S. 19.

Ehe wir die Arbeiten Galileis betrachten können, die den freien Fall der Körper zum Gegenstand haben, haben wir zunächst zu untersuchen, ob Galilei das Beharrungsgesetz in seiner Vollständigkeit gekannt hat oder nicht. Während er in seinen frühesten Schriften den Gegensatz zwischen der natürlichen Bewegung im Kreise und der gewaltsamen in gerader Linie festhält, so hat er doch in Pisa bereits den ersten Schritt getan, um den Unterschied beider zu beseitigen. Er machte die Entdeckung, daß sowohl die beschleunigte Bewegung des fallenden, als auch die verzögerte des aufwärts geworfenen Körpers daraus abzuleiten sei, daß die virtus impressa bei gleichbleibender Schwere abnehme[1]). Da er aber, wie sogleich eingehender betrachtet werden soll, noch nicht dazu kam, die Schwere eines Körpers als eine vom Erdkörper ausgehende Wirkung anzusehen, sondern sie als einen in der Natur des Körpers begründeten Trieb betrachtete[2]), so konnte ihn dies nicht auf die Annahme eines fortwährenden Zuwachses oder Verlustes an Geschwindigkeit infolge einer äußeren Kraft hinführen, und wenn er auch später in den Discorsi[3]) sagt: „Einem ruhenden, noch so schweren Pendel können wir durch bloßes Anblasen eine Bewegung erteilen, und zwar eine recht beträchtliche, wenn wir das Blasen einstellen, sobald das Pendel zurückkehrt, und immer wieder blasen in der dem Pendel eigentümlichen Zeit" und diese Beobachtung auch auf die Bewegung schwerer Kirchenglocken und das Mitschwingen von Saiten ausdehnt, wenn er denselben Gedanken noch bestimmter im sechsten Tag der Discorsi ausspricht, so ist daraus keineswegs der Schluß zu ziehen, daß er in der Zwischenzeit zu einer allgemeineren Auffassung des Beharrungsvermögens gelangt sei. Zwar scheinen folgende Worte dies zu fordern. „Solche Momente"[4]), sagt er[5]), „häufen sich in der Zeit der Bewegung des schweren Körpers durch gleiche Hinzufügung in jedem Augenblicke an und erhalten sich in ihm genau so, wie die

---

[1]) Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes. Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft, Bd. XV, S. 105 Note.

[2]) Wohlwill, ebenda, S. 122.

[3]) Ostwalds Klassiker, Nr. 11. Leipzig 1890, S. 85.

[4]) Antriebe. Die Definition des Momentes, die Galilei gibt, wird sogleich mitgeteilt werden.

[5]) Ebenda, Nr. 25, Leipzig 1891, S. 57. Ich gebe hier anstatt der freieren Übersetzung von Oettingens die wörtliche Wohlwills (a. a. O., Bd. XV, S. 121), da diese die Meinung Galileis, wie mir scheint, deutlicher wiedergibt.

Geschwindigkeit eines fallenden Körpers wächst. Wie nämlich in den unendlich vielen Augenblicken einer noch so kleinen Zeit ein schwerer Körper immer neue und gleiche Geschwindigkeitsgrade durchläuft, indem er immer die in der verflossenen Zeit erlangten behält, so erhalten sich auch in den Körpern von Augenblick zu Augenblick und setzen sich zusammen die natürlichen oder gewaltsamen Momente, die ihm entweder von der Natur oder der Kunst mitgeteilt worden sind." Aber Galilei betrachtet hier nur die Zunahme der Kraftmomente und das hindert ihn, das Beharrungsvermögen zu erkennen. War ihm doch diese und die Zunahme oder Abnahme der Geschwindigkeiten bei Körpern, die sich in einer gegen die Horizontale geneigten Ebene bewegen, das Unerklärliche, während er für die in horizontaler Richtung erfolgende diese Schwierigkeit nicht findet. Deren Beharren hat er schon in Arbeiten, die in Pisa entstanden sind, ausgesprochen. Er sah sie offenbar als in der Richtung der Erdoberfläche, also in der Tat im Kreise erfolgend, als eine natürliche an, und so mußte ihm die in einer anderen wie der horizontalen Richtung erfolgende Bewegung als eine aus gewaltsamer und natürlicher zusammengesetzte erscheinen.

Über diese Schwierigkeit ist er bis zu seinem Lebensende nicht hinausgekommen, während sie für viele seiner Schüler nicht vorhanden schien, die als selbstverständlich Konsequenzen aus seiner Lehre zogen, an die er selbst nicht gedacht hatte. So führte schon 1607 Castelli als Galileis Lehre den Satz auf[1]: „Es bedarf des Bewegenden, damit die Bewegung anfängt, aber dafür, daß sie fortdauert, genügt, daß sie keinen Widerstand findet." Und der Schüler beider, der Professor der Mathematik in Bologna, der Jesuitenpater Bonaventura Cavalieri (1598 bis 1647) kommt bei der sogleich zu besprechenden Betrachtung der Form der Wurflinie 1632 zu dem Schluß[2], „daß die schweren Körper, wenn sie in irgendwelcher Richtung geworfen werden, vermöge der eingeprägten Kraft sich in derselben gleichförmig fortbewegen", wenn man vom Luftwiderstand absieht. Indem er also der horizontalen Richtung einen Vorzug nicht mehr einräumt, gewann er

---

[1]) Favaro, Galileo Galilei e lo studio di Padova, Firenze 1883, II, S. 268. Vgl. Wohlwill, Die Entdeckung der Parabelform der Wurflinie. Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik, Bd. IX, S. 583, Leipzig 1899.

[2]) Cavalieri, Lo Spezzio notorio, Bologna 1632. Vgl. Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes. Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft, Bd. XV. Weimar 1884, S. 352.

dem Beharrungsgesetz die allgemeine Anwendbarkeit[1]). Noch deutlicher sprach es Galileis Schüler Baliani, der keineswegs zu den talentvollsten unter ihnen gehörte, in einem Briefe vom 19. August 1639 aus, aus dessen Beantwortung seitens Galilei hervorgeht, daß dieser die Allgemeinheit jenes Prinzips keineswegs annahm. Giovanni Battista Baliani war 1582 als Sohn eines Edelmanns in Genua geboren und starb, nachdem er verschiedene Staatsämter der Republik bekleidet hatte, 1666 daselbst. Er drückt in dem erwähnten Briefe die Meinung aus, daß man als Ausgangspunkt der Betrachtungen über den Fall auf der schiefen Ebene auch den Satz nehmen könne, daß[2]) „ein jeder Geschwindigkeitsgrad dem bewegten Körper von Natur aus unzerstörbar eingeprägt ist." Daraus, daß dieser Satz, der unzweideutig allgemein das Beharrungsgesetz ausspricht, auf Galilei nicht den geringsten Eindruck machte, geht deutlich hervor, daß er dies wichtige Gesetz weder für sich in Anspruch nahm noch auch damals zu seiner Erkenntnis durchgedrungen war. Wenn es demnach Baliani auch zuerst in solcher Form konzipierte, wenn Castelli und Cavalieri ihm bereits nahegekommen waren, so hat die dazu nötige Geistesarbeit doch Galilei geleistet. Aber so mächtig wirkte noch in ihm die Unterordnung unter die Lehre des Aristoteles, daß es ihm versagt blieb, die letzte Konsequenz zu ziehen, welche die Fesseln der Scholastik sprengte.

Darin aber zeigt sich die Eigenart der Forschung Galileis, daß sein Denken und Experimentieren die vorurteilsvollen Anschauungen seiner Zeit überwinden und Gesetze finden ließ, die auch die moderne Wissenschaft als richtig anerkennt. Wir haben gesehen, daß wenn er in Pisa Fallversuche angestellt hat, diese doch für seine späteren Ansichten über den freien Fall, den er mit dem Aufsteigen eines geworfenen Körpers stets zusammen betrachtet, in keiner Weise maßgebend gewesen sein können. So war denn auch seine erste Schrift De motu noch im allgemeinen in aristotelischer Denkweise geschrieben, wenn sie auch im einzelnen im Anschluß an Benedetti die Rolle der Luft für die Erhaltung der Bewegung verwarf. Den Begriff der Einprägung der Kraft nimmt er mit diesem an, verschärft ihn jedoch, indem er sie als naturgemäß abnehmend betrachtet. „Was diese Kraft sei," meint er

[1]) Ebenda, S. 134.
[2]) Wohlwill, a. a. O. Bd. XV, S. 112.

aber, „ist uns verborgen"[1]), und diese Ansicht hat er sein ganzes Leben lang festgehalten. Wenn also die Schwere ihren Wert behält, so muß die Bewegung eines aufsteigenden Körpers immer langsamer werden, er muß aufhören zu steigen, wenn die Schwere gleich der vis impressa wird, beim Fallen aber nimmt die letztere immer weiter ab, widerstrebt also der Schwere immer weniger und der Körper wird sich demgemäß rascher bewegen. Mit Recht macht Wohlwill[2]) darauf aufmerksam, daß in dieser Erklärung Elemente des Fortschrittes und des Rückschrittes gemischt sind, aber Originalität ist ihr offenbar zuzusprechen. „Gegen Aristoteles wird bewiesen, daß auch bei der Umkehr zwischen der kleinsten Geschwindigkeit in der Richtung nach oben und der kleinsten in der Richtung nach unten im Punkt der Umkehr ein Ruhen nicht stattfinde. Es ergibt sich daraus die für die geschichtliche Betrachtung nicht unwichtige Tatsache, daß die Ableitung dieser und verwandter Erkenntnisse von einer latenten, geschweige einer klaren Einsicht in die Wirkungsweise der konstanten Kraft und in das Beharrungsgesetz nicht abhängig war. Galilei hat vielmehr, was ihm in dieser Richtung Benedetti bot, geflissentlich nicht verwertet"[3]). Diese Arbeit hat Galilei freilich nie veröffentlicht und so dürfte ihm daraus, daß er Benedetti darin nicht erwähnt, ein Vorwurf nicht gemacht werden können[4]).

Im Jahre 1604 aber war er, wie dies Sarpi bezeugt[5]), wesentlich weiter gekommen. Er wußte nun schon, daß der aufwärts geworfene Körper zum Steigen und Fallen die nämliche Zeit braucht, und er war im Besitze des Gesetzes, daß sich die Fallräume in den aufeinanderfolgenden Sekunden wie die ungeraden Zahlen, d. i. wie die Differenzen der Quadrate der aufeinanderfolgenden Zahlen, die Endgeschwindigkeiten aber wie diese Zahlen selbst verhalten, ein Gesetz, das er möglicherweise schon viel früher gefunden hat[6]). Leonardo da

---

[1]) Opere XI, S. 18. Nach Wohlwills Übersetzung a. a. O., Bd. XIV, S. 398.

[2]) Wohlwill a. a. O., Bd. XIV, S. 400.

[3]) Wohlwill a. a. O., Bd. XIV, S. 401. Wie die verkehrte Beurteilung dieser Schrift Galileis, die üblich geworden ist, sich erklärt, siehe Wohlwill a. a. O., Bd. XIV, S. 395 ff.

[4]) Wohlwill a. a. O., Bd. XIV, S. 397, 2. Note.

[5]) Opere di Galilei. Ed. Albèri. Bd. VIII, S. 29. Vgl. Wohlwill a. a. O., Bd. XIV, S. 404 und Die Entdeckung der Parabelform der Wurflinie. Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik, Bd. IX. Leipzig 1899, S. 583.

[6]) Wohlwill a. a. O., S. 583 u. 620.

Vinci hatte angenommen, daß dies das Verhältnis der mittleren Geschwindigkeiten sei[1]). Er erhält sein Ergebnis mit Hilfe der graphischen Darstellung, wohl der erste Versuch dieser Art, eine solche wendet ebenfalls Galilei an, als er in den Discorsi den Satz zu erweisen unternahm. Ist also seine Untersuchungsmethode die des großen Malers, so ist die Anwendung derselben eine viel besser durchdachte; sie ist eine in solcher Weise fortgeschrittene, daß man sie in neueren Lehrbüchern noch angewendet findet. Er löst die Aufgabe der Zusammenzählung der Geschwindigkeiten, die in unendlich kleinen Zeitteilchen aufeinander folgen, indem er auf einer Linie die Zeit aufträgt, in einem ihrer Endpunkte und ihrem Halbierungspunkte Senkrechte errichtet, und diese durch eine am andern Endpunkte unter einem beliebigen Winkel angelegte weitere Gerade schneidet. Betrachtet er nun das anschließend von der im Halbierungspunkt errichteten Senkrechten abgeschnittene Stück als das Maximum der in der zugehörigen Zeit erlangten Geschwindigkeit, so gibt der Inhalt des so erhaltenen rechtwinkligen Dreiecks die Summe der in diesen Zeitteilchen zurückgelegten Wege und es ergibt sich leicht, daß diese sich wie die ungeraden Zahlen verhalten. So geht Galilei weit über Leonardo hinaus, wenn er durch ihn auch zu der Behandlung der Aufgabe angeregt worden sein sollte. Seine Methode tritt vielmehr derjenigen des Archimedes bei der Behandlung des Stetigen an die Seite und arbeitet durch die Einführung der unendlich kleinen Zeitteilchen der Infinitesimalrechnung vor. Mutet sie uns deshalb modern genug an, so kommen zwei weitere Gesichtspunkte diesem Eindruck auf das wirksamste zu Hilfe. Leonardo war nicht darauf gekommen, von der Einwirkung des Mittels, durch das sich der Körper bewegen muß, abzusehen, infolge davon blieb ihm die Aufstellung der allgemeinen Fallgesetze versagt. Indem aber Galilei fand, „daß die Differenz der Geschwindigkeiten verschiedener Körper von verschiedenem (spezifischem) Gewicht im allgemeinen größer war in den stärker widerstehenden Medien,[2])" kam er zu der Annahme, „daß, wenn man den Widerstand der Luft aufhöbe, alle Körper gleich schnell fallen würden[3])." Da er aber bekennen muß, daß es ihm unmöglich ist, einen leeren Raum herzustellen, so konnte er das Fallgesetz nur

[1]) Vgl. Th. Beck, Leonardo da Vincis Ansicht vom freien Falle schwerer Körper. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 51, 1907, S. 1386.

[2]) Galilei, Discorsi, 1. Tag. Nach v. Oettingens Übersetzung in Ostwalds Klassiker, Bd. 11, Leipzig 1890, S. 65. — [3]) Galilei a. a. O., S. 66.

auf theoretischem Wege erhalten. „Finden wir tatsächlich," fährt er fort, „daß verschiedene Körper immer weniger verschieden sich bewegen, je nachgiebiger die Medien sind, und daß schließlich trotz sehr großer Verschiedenheit der fallenden Körper im allerfeinsten Medium der allerkleinste Unterschied verbleibt, ja eine kaum noch wahrnehmbare Differenz, dann, scheint mir, dürfen wir mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß im Vakuum völlige Gleichheit eintreten werde."[1])

Der zweite der erwähnten Gesichtspunkte betrifft die von Galilei aufgestellte Forderung, „in den Wissensgebieten, in welchen auf natürliche Konsequenzen mathematische Beweise angewandt werden"[2]), die erhaltenen Ergebnisse durch besondere Versuche auf ihre Richtigkeit zu prüfen. Zu diesem Zweck muß die allzu rasche Bewegung der Körper verlangsamt werden, und das erreicht er eben durch Anwendung der schiefen Ebene. Den Versuch beschreibt er folgendermaßen[3]): „Auf einem Lineale, oder sagen wir auf einem Holzbrette von 12 Ellen Länge, bei einer halben Elle Breite und 3 Zoll Dicke, war auf dieser letzten schmalen Seite eine Rinne von etwas mehr als einem Zoll Breite eingegraben. Dieselbe war sehr gerade gezogen, und um die Fläche recht glatt zu haben, war inwendig ein sehr glattes und reines Pergament aufgeklebt; in dieser Rinne ließ man eine sehr harte, völlig runde und glatt polierte Messingkugel laufen. Nach Aufstellung des Brettes wurde dasselbe einerseits gehoben, bald eine, bald zwei Ellen hoch; dann ließ man die Kugel durch den Kanal fallen und verzeichnete in sogleich zu beschreibender Weise die Fallzeit für die ganze Strecke: häufig wiederholten wir den einzelnen Versuch, zur genaueren Ermittelung der Zeit, und fanden gar keine Unterschiede, auch nicht einmal von einem Zehnteil eines Pulsschlages. Darauf ließen wir die Kugel nur durch ein Viertel der Strecke laufen und fanden stets genau die Fallzeit gegen früher. Dann wählten wir andere Strecken und verglichen die gemessene Fallzeit mit der zuletzt erhaltenen und mit denen von $^2/_3$ oder $^3/_4$ oder irgend anderen Bruchteilen; bei wohl hundertfacher Wiederholung fanden wir stets, daß die Strecken sich verhielten wie die Quadrate der Zeiten: und dieses zwar für jedwede Neigung der Ebene, d. h. des Kanales, in dem die Kugel lief. Hierbei fanden wir außerdem,

---

[1]) Galilei a. a. O., S. 65.

[2]) Galilei a. a. O., 3. Tag, Bd. 24. Leipzig 1891, S. 25.

[3]) Galilei, Discorsi etc., 3. Tag. Ostwalds Klassiker, Nr. 24. Leipzig 1891, S. 25. Nach der Übersetzung von v. Oettingen.

daß auch die bei verschiedenen Neigungen beobachteten Fallzeiten sich genau so zueinander verhielten wie weiter unten unser Autor[1]) dasselbe andeutet und beweist. Zur Ausmessung der Zeit stellten wir einen Eimer voll Wasser auf, in dessen Boden ein enger Kanal angebracht war, durch den ein feiner Wasserstrahl sich ergoß, der mit einem kleinen Becher aufgefangen wurde, während einer jeden beobachteten Fallzeit: das dieser Art aufgesammelte Wasser wurde auf einer sehr genauen Wage gewogen; aus den Differenzen der Wägungen erhielten wir die Verhältnisse der Gewichte und die Verhältnisse der Zeiten, und zwar mit solcher Genauigkeit, daß die zahlreichen Beobachtungen niemals merklich voneinander abwichen."

Ich habe geglaubt, die vollständige Beschreibung dieses Versuches aufnehmen zu sollen, da er einesteils uns den Standpunkt der physikalischen Experimentierkunst zu Zeiten Galileis klar vor Augen führt, anderenteils aber zeigt, wie Galilei in seiner späteren Zeit seine frühere geringschätzige Ansicht über den Wert des Experimentes geändert hatte, da er jetzt die Beeinträchtigung des Resultates durch es störend beeinflussende Nebenumstände einmal durch zweckmäßig angebrachte Vorsichtsmaßregeln, dann aber durch eine häufige Wiederholung des Versuches unschädlich zu machen sucht. Es setzt dies ein richtiges Gefühl, wenn nicht eine Kenntnis der beiden Fehlerquellen voraus, die wir jetzt als systematische und zufällige unterscheiden, und so sind, soweit ich sehe, diese Versuche Galileis die ersten, die als quantitative im Sinne der modernen Naturwissenschaft aufzufassen sind.

Die parabolische Form der Wurflinie scheint sich ohne weiteres aus der Annahme des Beharrungsvermögens in horizontaler Richtung und dem Gesetze des freien Falles zu ergeben und ihre Ableitung bildet in der Tat den Inhalt des vierten Tages der Discorsi. Hört man freilich Caverni[2]), so stammt diese Ableitung nicht von Galilei, sie ist vielmehr das geistige Eigentum bedeutender Zeitgenossen, das er unrechtmäßiger Weise sich angeeignet hat. Und in der Tat wird diese

---

[1]) Das den Inhalt der Discorsi gebildete Gespräch findet, wie in dem Dialogo usw., zwischen Salvati, Sagredo und Simplicio statt, von denen der erstere die Ansichten Galileis, Sagredo die des gebildeten Laien und Simplicio die des gemäßigten Peripatetikers vertritt. Der Autor ist Galilei selbst, die „weiter unten" in einem Scholium aufgenommene Mitteilung enthält das früher bereits von Galilei dargelegte Gesetz der schiefen Ebene.

[2]) Caverni, Storia del metodo esperimentale in Italia, Bd. IV, 1893.

Ansicht dadurch unterstützt, daß Galilei in den 1632 erschienenen, aber 1621 bis 1623 entworfenen Dialogen über die beiden wichtigsten Weltsysteme von der Bahn eines Steines, der aus dem Mastkorb eines in Bewegung begriffenen Schiffes herabgeworfen wird, sagt, daß sie kreisförmig sei, während sie doch von denselben Gesichtspunkten aus entworfen werden muß, wie die des geworfenen, und daß es Cavalieri war, der in seinem Lo specchio ustorio zum ersten Male die Parabelform der Wurflinie lehrte[1]). Wenn nun anderseits Galilei in den »Discorsi« trotzdem die Entdeckung für sich in Anspruch nimmt, so möchte auf den ersten Blick der Vorwurf Cavernis als berechtigt erscheinen. Den Nachweis dafür, daß er es trotzdem nicht ist, verdanken wir Wohlwill[2]), dem es, unterstützt von Favaro, gelungen ist, vollständige Klarheit in die recht verwickelte Sache zu bringen und darzutun, daß die Entdeckung der Parabelform der Wurflinie doch Galilei gehört.

Danach muß der erste Mathematiker des Großherzogs von Toskana bereits im Frühling 1609 im Besitz einer zusammenhängenden Wurflehre gewesen sein. Er berichtete damals bereits einem Prinzen aus dem Hause der Mediceer, er habe gefunden, daß bei allen horizontal gerichteten Schüssen die Kugel unabhängig von der Entfernung des zu erreichenden Zieles immer in der Zeit die Erde erreicht, in der sie von der Mündung der Kanone aus lotrecht zur Erde fällt, die Kugeln schräg aufwärts gerichteter Schüsse aber, deren Bahn zwischen zwei horizontalen Ebenen liegt, die untere Ebene aber alle in der nämlichen Zeit erreichen, so daß sie auch die absteigenden Hälften ihrer Bahnen in gleichen Zeiten zurücklegen, nämlich in derselben Zeit, welche die horizontal geschossenen brauchen, um aus gleicher Höhe herabzugelangen[3]). Doch wird, worauf in den Discorsi noch besonders aufmerksam gemacht wird, der Luftwiderstand die Parabelform nicht vollständig zur Ausbildung gelangen lassen, wie sich das bei den Fallversuchen auch zeigt[4]). So gelangt er auch zu der Erkenntnis, warum Schüsse, die unter der Neigung eines halben Rechten abgefeuert werden, die größte Wurfweite besitzen, eine Tatsache, die den Bombenwerfern der damaligen

---

[1]) Cavalieri, Specchio ustorio, S. 164.

[2]) Wohlwill, Die Entdeckung der Parabelform der Wurflinie. Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik, Bd. IX. Leipzig 1899, S. 579 ff.

[3]) Ebenda, S. 582.

[4]) Galilei, Discorsi, 4. Tag. Ostwalds Klassiker, Nr. 24, S. 86.

Zeit wohl bekannt war[1]). Um eine Parabel zu konstruieren, will er folgendermaßen verfahren: „Ich habe," läßt er Salviati, den Vertreter seiner Ansicht in den Discorsi sagen[2]), „eine Bronzekugel, die völlig rund gearbeitet ist, nicht größer als eine Nuß; wirft man dieselbe auf einen Metallspiegel, der nicht ganz horizontal liegt, sondern ein wenig geneigt ist, so daß die Kugel in ihrem Laufe einen leichten Druck ausübt, so beschreibt sie eine feine parabolische Linie, die mehr oder weniger gestreckt sein wird, je nach der Neigung der Metallplatte. Zugleich läßt sich demonstrieren, daß geworfene Körper in Parabeln sich bewegen: eine Tatsache, die unser Freund (eben Galilei) entdeckt hat, samt dem Beweise, den er in seinem Buche über die Bewegung bringt." Aus dem Umstande, daß, wie Libri[3]) gezeigt hat, dieser Versuch mit ganz geringer Veränderung bereits von Dal Monte angestellt worden ist, ist nun freilich nicht der Schluß zu ziehen, daß damit Galilei seines Gönners Idee sich aneignen wollte. Denn er nimmt nicht die Konstruktion[4]), wohl aber die Entdeckung der Parabelform der Wurflinie für sich in Anspruch, und zudem hat uns Cavalieri eine Nachricht aufbewahrt, wonach Galilei und Dal Monte gemeinsam einen Versuch über die Form der Wurflinie angestellt hätten, endlich aber muß darauf hingewiesen werden, daß Dal Monte von der so erhaltenen Linie sagt, daß sie dem Ansehen nach der Parabel und der Hyperbel ähnlich sei. Man wird daraus auch mit aller Anstrengung kein Argument gegen Galilei nehmen können.

So trat er denn auch gegen Cavalieri sofort auf und nahm in einem Briefe an Marsigli die Priorität der Entdeckung der Parabelform der Wurflinie für sich in Anspruch, nicht ohne sich über die Voreiligkeit seines Schülers bitter zu beklagen. Dieser aber ist weit davon entfernt, dem verehrten Lehrer eine Entdeckung rauben zu wollen. Er gesteht seine Priorität rückhaltlos zu, und wir werden uns der Annahme Wohlwills[5]) anschließen dürfen, die dahin geht, daß Cavalieri aus der von Galilei in den Dialogen hingeworfenen Ansicht von der einem Kreisbogen ähnlichen Form der Wurflinie ge-

[1]) Ebenda, S. 106.

[2]) Galilei, Discorsi, 2. Tag. Ostwalds Klassiker, Nr. 11, S. 122.

[3]) Libri, Histoire des Sciences mathématiques en Italie IV. Paris 1840, S. 397 ff.

[4]) Dies möchte ich Wohlwill gegenüber hervorheben.

[5]) Wohlwill a. a. O., S. 604 ff.

schlossen habe, daß der Meister von seiner früheren Ansicht zurückgekommen sei. Daß das keineswegs der Fall war, haben wir gesehen. Galilei selbst aber hat die Äußerung in den Dialogen im Jahre 1637 Carcavi gegenüber als einen Scherz bezeichnet, als »un capriccio e una bizzarrìa«, für eine poetische Fiktion, für die Dispens zu erhalten er wünscht[1]). Betrachtet man die von Albèri zuerst mitgeteilte[2]), von Wohlwill nach einem von Favaro hergestellten Faksimile wiederholte Handzeichnung Galileis, die dem erwähnten Briefe an den Prinzen Medici vom Jahre 1609 beigegeben war, so ergibt sich mit aller Sicherheit die Richtigkeit seiner Behauptung. Wer so klar und richtig die Wurflinie darstellte, konnte unmöglich sie zugunsten eines Kreisbogens fallen lassen. Freilich erklärt sich aus dem Mitgeteilten die weit verbreitete Ansicht, daß Cavalieri, weil er die Parabelform der Wurflinie zuerst veröffentlichte, sie auch entdeckt haben müsse.

Wir haben gesehen, daß Galilei die Bewegung des Pendels als einen besonderen Fall der Bewegung eines Körpers über die schiefe Ebene betrachtet und zum Beweis der Richtigkeit der dafür aufgestellten Sätze benutzt hat. Er muß also ziemlich früh die Entdeckung des Isochronismus der Pendelschwingungen gemacht haben, womit denn auch die bekannte Erzählung Vivianis übereinstimmt. Ob er die so wichtige Entdeckung als junger Student in Pisa 1583, indem er die Zeitdauer der Schwingungszeit einer Lampe im dortigen Dome mit Hilfe seiner Pulsschläge bestimmte, gemacht hat, ist für die historische Betrachtung gleichgültig. Ist sie wahr, so ist daraus die hohe Befähigung Galileis schwerlich zu entnehmen[3]), da wir ihn noch als Pisaner Professor im peripatetischen Fahrwasser sich bewegen sehen. Da er aber in den Discorsi das Beispiel der schwingenden Lampe verwendet, auch die Pulsschläge als Zeitmaß benutzt, so ist es durchaus wahrscheinlich, daß er in der angegebenen Weise zu seiner Entdeckung des Isochronismus der Pendelschwingungen gekommen ist. Das Gesetz, daß sich die Pendellängen, wie die Quadrate der Schwingungszeiten ver-

---

[1]) Wohlwill a. a. O., S. 600.

[2]) Albèri, Opere di Galilei. Bd. VI, Taf. II, Fig. 1. Wohlwill a. a. O., S. 597.

[3]) So Poggendorff, Geschichte der Physik, Leipzig 1879, S. 223; Rosenberger, Geschichte der Physik, II. Teil, Braunschweig 1884, S. 15; Heller, Geschichte der Physik, 1. Bd, Stuttgart 1882, S. 344.

halten, führt er im ersten Tag der Discorsi auf[1]), wann er es gefunden hat, ist nicht genauer zu bestimmen.

Der sechste Tag der Discorsi ist der Untersuchung der Wirkungsweise des Stoßes der Körper gewidmet. Obwohl auch er scharfsinnige Untersuchungen enthält, so ist die Lösung der Frage doch als eine nicht vollständige zu bezeichnen. Aber die Untersuchung bricht so plötzlich ab, daß man den sechsten Tag als unvollendet geblieben ansehen muß, sei es infolge des Todes ihres Verfassers, sei es, daß seine Erblindung die Vollendung vereitelte. Indessen macht das zu Ende gebrachte nicht den Eindruck, als habe Galilei die vollständige Lösung des Problems gehabt und die obigen Umstände hätten nur seine Niederschrift verhindert. Denn die Discorsi sind 1638, also drei Jahre vor seinem Tode gedruckt worden. Den einen der drei die Unterredung Führenden, Aproino, der hier an die Stelle des Simplicius der früheren „Tage", aber nicht als Verteidiger des Aristoteles getreten ist, läßt er einen Versuch beschreiben, den dieser in Padua von Galilei gesehen hat. Daraus geht hervor, daß Galilei sich dort bereits mit der Untersuchung des Stoßes beschäftigte und einen Versuch anstellte, um die Stoßkraft zu messen. Er hing an den einen Arm einer Wage übereinander zwei Eimer, füllte den oberen, der im Boden ein durch einen Stopfen verschließbares Loch hatte, mit Wasser und äquilibrierte beide durch ein an den anderen Wagebalken gehängtes Gewicht. Ließ er nun das Wasser aus dem oberen in den unteren Eimer laufen, so blieb die Wage, nach einem vorübergehenden Herabsinken des Gegengewichts in horizontaler Stellung stehen, und Galilei schloß daraus, „daß die Kraft und das Moment des Stoßes gleich dem Gewicht der Wassermenge, die im Fallen begriffen ist, mithin in der Luft zwischen beiden Eimern schwebt[2])" sei. Dieses Ergebnis hat ihn aber offenbar nicht befriedigt, er legte deshalb seinen späteren Untersuchungen die Prüfung der Wirkung des Rammbären zugrunde. Er stellt sie mit der eines „toten Gewichtes" zusammen und zeigt, daß es widersinnig sei, die Wirkung des Stoßes auf einen in die Erde zu treibenden Pfahl durch ein solches, nämlich eine auf den Pfahl gelegte genügend schwere Last erklären zu wollen, da eine solche nur einmal eine Wirkung auf den Pfahl ausübe, der Rammbär dieses aber bei jedem neuen Stoße von neuem tue.

---

[1]) Galilei, Discorsi, 1. Tag. Ostwalds Klassiker Nr. 11, S. 84.
[2]) Ebenda, 6. Tag, Nr. 25, S. 40.

Dringe auch der Pfahl bei jedem folgenden Stoße weniger in die Erde ein, als bei dem vorhergehenden, so sei nichtsdestoweniger die Gewalt des folgenden größer als die des vorhergehenden. Denn weil sich bei den ersten Stößen der Pfahl um ein größeres Stück mit dem Rammbär fortbewegt, wie bei den späteren, so kann er seine volle Wucht im Anfange nicht zur Geltung bringen. Von der Geschwindigkeit und dem Gewichte des stoßenden Körpers hängt aber die Wirkung des Stoßes in der Weise ab, daß die Geschwindigkeiten beider im umgekehrten Verhältnis ihrer Gewichte stehen oder daß ihre Momente gleich sind. So kommt er zu der Folgerung, „daß das Maß der Stoßkraft nicht beim stoßenden, sondern beim gestoßenen Körper zu suchen ist", und daß es scheint, „als könne man auf eine unbegrenzte oder besser auf eine unbestimmte oder unbestimmbare Stoßkraft schließen, die bald kleiner, bald größer ist, je nachdem der getroffene Widerstand größer oder kleiner ist[1])" oder „daß der gestoßene Körper soviel vom Stoßenden beeinflußt wird, als er dem Stoße sich widersetzt und demselben entgegenwirkt, ihn ganz oder teilweise aufhebend[2])." In der Tat mißlangen die Versuche, die Stoßkraft zu messen.

Wir haben die Ansicht Lagranges angeführt, wonach die Größe Galileis gerade in seiner Bewegungslehre hervortritt. Ihr Studium hat noch das besondere Interesse, als sie zeigt, wie Galilei sich in ihr immer mehr von seiner ursprünglichen Befangenheit in scholastischer Lehre frei machte, mit der seine Arbeiten begannen, um mit modernen Anschauungen abzuschließen. Da ist es denn von besonderem Interesse, noch besonders hervorzuheben, wie er manche von diesen vorbereitete, ohne sie noch zur Klarheit durcharbeiten zu können. Dazu gelangten erst die großen Genien, die nach ihm kamen, namentlich Newton und Leibniz war es vorbehalten, da fortzufahren, wo Galilei aufgehört hatte.

Der wichtigste Fortschritt, den er machte, liegt in der Einführung des unendlich kleinen Zeitmoments. „In diesem," sagt Laßwitz[3]), „kommt die Bewegung sozusagen zum Stehen, Statik und Dynamik grenzen aneinander; die „mögliche" Bewegung verliert ihre Unbestimmtheit, sie ist jetzt in der virtuellen Geschwindigkeit mathematisch

---

[1]) Ebenda, 6. Tag. Ostwalds Klassiker, Nr. 25, S. 43.

[2]) Ebenda, 4. Tag. Ostwalds Klassiker, Nr. 24, S. 101.

[3]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik, Bd. II. Hamburg und Leipzig 1890, S. 28.

definiert; die „aktuelle" Bewegung verliert ihre Unfaßlichkeit, sie ist im Begriff des Momentes gebannt an einen bestimmten Zeitpunkt, so daß verschiedene Bewegungszustände für dasselbe Zeitteilchen vergleichbar werden. . . . . . Die metaphysische ist durch die mathematisch-mechanische Vorstellungsweise abgelöst und das aristotelische Prinzip des Geschehens in der Wirklichkeit ersetzt durch ein neues Prinzip, wonach alle Veränderung darstellbar wird als räumliche Bewegung, die den im Moment faßbaren Charakter des Intensiven trägt." So bereitet er die Einführung des Differentials vor, aber auch das Gesetz, daß jeder Wirkung eine Gegenwirkung entspricht, hat er schon deutlich, wenn auch noch nicht allgemein gültig ausgesprochen. Hätte er es klar erkannt, so hätte er den gelegentlich seiner Arbeiten über den Stoß beschriebenen Versuch wohl in anderer Weise erklärt, wie er es wirklich tat.

Eigentümlich ist die Stellung Galileis, die er der Schwerkraft und Gravitation gegenüber einnimmt, oder vielmehr nicht einnimmt, denn er verwirft jede Art der Anziehung, wohl aus Abneigung gegen die vielen »attractiones«, mit denen als »qualitates occultae« (als verborgene Qualitäten) in der damaligen Medizin viel Unfug getrieben wurde[1]). Diesen scholastischen Anschauungen gegenüber legte er den Körpern einen Trieb bei, welcher sie, durch mathematische Gesetze geregelt, im Falle zur Erde trieb. Muß es ihm nun eher als Verdienst angerechnet werden, daß er sich jeder Annahme über das Wesen der Anziehung enthielt und einer Wirkung in die Ferne widerstrebte, so führten seine Erörterungen doch zur Aufstellung einer solchen. Dieser Trieb der Körper ist nun, wie in dem Dialog über die beiden wichtigsten Weltsysteme[2]) dargetan wird, zum Mittelpunkte der Erde gerichtet, von dem wir wissen, daß er vorhanden ist und nicht zum Mittelpunkte des Weltalls, von dem wir dies nicht wissen und der im besten Falle doch nur „ein Nichts ohne irgendwelche Wirkungsfähigkeit" sein kann. „Wenn aber," sagt er an einer anderen Stelle, die vielleicht durch die Ansicht des Kopernikus, daß die Gestirne die Neigung haben, sich zu Kugeln zusammenzuballen[3]), beeinflußt ist, „aus dem überein-

[1]) Goldbeck, Die Gravitationshypothese bei Galilei und Borelli. Berlin 1897. Progr. Nr. 63, S. 9.

[2]) Galilei, Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme. Übersetzt von Strauß. Leipzig 1891, S. 39.

[3]) Kopernikus, De Revolutionibus. Ausg. der Soc. Cop. Thorunensis, S. 11. Vgl. Goldbeck, S. 7.

stimmenden Streben aller Teile der Erde zum Ganzen sich ergibt, daß diese von allen Seiten mit gleichem Triebe zu ihr hineilen und, um sich so eng als möglich mit ihr zu vereinigen, sich ihr kugelförmig anlagern, warum sollen wir nicht annehmen, daß der Mond, die Sonne und die anderen Weltkörper gleichfalls nur wegen des übereinstimmenden Triebes und des natürlichen Zusammenstrebens aller sie zusammensetzenden Teile von runder Gestalt sind? Wenn irgendeinmal durch irgendwelche Gewalt ein Teil von seinem Ganzen losgerissen würde, wäre es nicht vernünftig anzunehmen, daß er von selbst durch natürlichen Trieb dahin zurückkehrt[1])?" Denkt er sich dann weiter die Entstehung der Planeten mit allerdings irrtümlicher Berufung auf Platon so, daß Gott ihre Kugeln an dem nämlichen Orte schuf, in den Mittelpunkt ihrer zukünftigen kreisförmigen Bahnen aber die Sonne setzte, darauf jenen den Trieb einpflanzte, sich nach dieser hin zu bewegen, an den ihnen bestimmten Orten aber ihre Bewegung plötzlich in die kreisförmige verwandelte[2]), so weisen alle diese Fiktionen auf die freilich noch ganz dunkle und unentwickelte Vorstellung einer allgemeinen Gravitation hin, so sehr er auch der Annahme einer solchen widerstrebt. Denn wenn er auch als Beispiel für seine Untersuchungen die Zeit berechnet, in der ein vom Monde auf die Erde fallender Körper diese erreichen würde, so liegt ihm der Gedanke fern, den Mond selbst auf die Erde fallen zu lassen. Ebenso erklärte er sich gegen die Entstehung der Gezeiten, die Kleomedes um Christi Geburt bereits mit den Mondphasen in Beziehung gebracht hatte[3]), durch dessen Anziehungskraft, wie sie Kepler gegeben hatte, die er auch für eine der verborgenen Qualitäten erklärte. Uns befriedigt seine eigene Erklärung des Phänomens freilich viel weniger, obwohl Galilei sie als Beweis für die Umdrehung der Erde um ihre Achse verwerten zu können glaubt. Er macht darauf aufmerksam, daß ein außerhalb ihrer Bahn befindlicher Punkt der Erde sich rascher bewegen müsse, als ein innerhalb liegender, daß sich also an jenem die Umdrehungsgeschwindigkeit und die Geschwindigkeit in der Bahn addieren müssen, in diesem nur eine Geschwindigkeit vorhanden sei, welche der Differenz der beiden genannten Geschwindigkeiten gleich ist. Dadurch werde infolge der Schwungkraft

---

[1]) Ebenda S. 36. — [2]) Ebenda S. 31 und Discorsi.

[3]) Kleomedes, De motu circ., S. 156, 13 (ed. Ziegler); vgl. Haas, Ästhetische und teleologische Gesichtspunkte in der antiken Physik. Archiv für Geschichte der Philosophie, Bd. 22, 1908, S. 87.

sich die Flüssigkeit an jener höher heben müssen wie an dieser, und das geschehe einmal an jedem Tage. Daraus soll sich die Gezeitenbewegung der Meere erklären[1]).

ι) Galilei und die Konstitution der Körper.

Wenn auch Galilei erklärte, daß er einen leeren Raum nicht herstellen könne[2]), so war er doch von seiner Existenz überzeugt, ja er schrieb ihm eine überaus große Wichtigkeit für das Dasein der Körper zu, indem er deren Festigkeit durch den Widerstand der Körper gegen den leeren Raum zurückführte. Aber das, was er den Widerstand nannte, war durchaus nichts anderes als der aristotelische Abscheu gegen den leeren Raum, den er nur aus der Empfindung in die meßbare Wirklichkeit übertrug. Um die Messung dieses Widerstandes auszuführen[3]), nahm er einen innen „akkurat und schön geformten Zylinder aus Metall oder Glas", der oben geschlossen war, und fügte in seine nach unten gewendete Öffnung einen sehr genau hineinpassenden Kolben aus Holz, welcher zum Einsetzen eines eisernen Stabes in der Mitte durchbohrt wurde. Die Durchbohrung war etwas weiter als der Stab, so daß man in ihm vorbei Wasser in den Zylinder gießen konnte, wenn er umgekehrt aufgestellt wurde. Sie war oben kegelförmig ausgedreht, und in den so entstandenen Hohlkegel paßte genau der ebenfalls sorgfältig ausgedrehte kegelförmige Kopf des Eisenstabes. Dessen unteres Ende war hakenförmig umgebogen und konnte so ein Sand enthaltendes Geschirr tragen, in welches nach und nach soviel Sand zugeschüttet wurde, daß sich die Oberfläche des Kolbens von der Wasserfläche über ihm trennte. Das Gewicht des Kolbens mit dem Eisenstabe nebst dem Gewichte des Gefäßes und des darin enthaltenen Sandes ergab dann die Kraft oder den Widerstand des leeren Raumes. Dem Einwand, daß Luft durch das Glas oder durch den Kolben eindringen könne, begegnet Galilei mit dem Hinweis, daß, wenn man im Deckel des Zylinders eine kleine Aushöhlung anbrächte, man „an dieser Stelle sich jene zarte Materie ansammeln sehen würde[4])." Wir werden sehen, daß diese Versuche den Ausgangspunkt für die Erfindung der Luftpumpe bildeten.

---

[1]) Galilei, Dialogo intorno ai due massimi sistemi de mondo. Florenz 1632. 4. Tag.

[2]) Galilei, Discorsi, 1. Tag. Ostwalds Klassiker Nr. 11, S. 65.

[3]) Galilei, Discorsi, 1. Tag. Ostwalds Klassiker Nr. 11, S. 14 ff.

[4]) Galilei, ebenda S. 16.

Der auf solche Weise gemessene Widerstand hat stets eine zahlenmäßig bestimmte Größe. Wie nun zwischen den beiden Teilen eines Strickes oder einer Holzmasse oder eines Eisenstabes, die beim Zerreißen durch genügend starke Belastung entstehen, momentan ein leerer Raum auftreten muß, in den freilich sogleich nach seiner Bildung die umgebende Luft eindringt, sein eigenes Gewicht aber, wenn nur durch dieses die Belastung hergestellt wurde, ebenso den Widerstand des Vakuums, wie seine Festigkeit ergibt, so daß diese durch jenes erklärt werden muß, so ergibt sich in der nämlichen Weise der Grund, weshalb in einer Saugpumpe das Wasser nur bis auf eine ganz bestimmte Höhe gebracht werden kann. Diese Erscheinung war eine längst bekannte, aber noch ganz unerklärte. Der Baumeister des Kurfürsten Friedrichs V. von der Pfalz, Salomon de Caus (1576 bis 1630), wußte nichts besseres zu ihrer Erklärung anzuführen, als daß die Natur der Maschine nicht litte, daß das Wasser in ihr höher als 30 Fuß gehoben werden könne; habe es diese Höhe erreicht, so werde die Luft in Blasen durch das Wasser aufsteigen[1]). Nun aber glaubte Galilei den Grund gefunden zu haben. „Was ist es anders," sagt er, „was man in der Saugpumpe anzieht, als ein Zylinder voll Wasser, der oben seine Befestigung hat und nun fort und fort verlängert wird, bis diejenige Grenze erreicht wird, über welche hinaus bei noch weiterer Verlängerung die Wassersäule zerreißt wie ein Seil[2])."

Soll nun aber die Festigkeit eines Körpers durch den Widerstand des leeren Raumes in ihm erklärt werden, so muß doch ein solcher in ihm vorhanden sein, und dies führt Galilei zu der Notwendigkeit, die Körper, wie dies vor ihm bereits Sennert und Basso taten, aus Atomen und zwischen ihnen befindlichen leeren Räumen bestehend zu denken. Da er nun aber nach dem Vorgange des Aristoteles die Erfüllung des Raumes durch die Körper als eine kontinuierliche auffassen zu müssen glaubte, so gibt er sich alle erdenkliche Mühe, durch Anwendung des Begriffes des unendlich Kleinen diese Schwierigkeit zu heben. Er versucht dies mit Hilfe geometrischer Beispiele, nämlich der unter dem Namen des Rades des Aristoteles bekannten Aufgabe, mit Hilfe einer in einen Zylinder eingeschriebenen Halbkugel

---

[1]) Salomon de Caus, Les raisons des forces mouvantes avec diverses machines tant utiles que plaisantes aux quelles sont adioints plusieurs desseings de grotes et fontaines. Francfort 1615. Theoreme IX.

[2]) Galilei, ebenda S. 17.

und eines ebensolchen Kegels mit entgegengesetzten Grundflächen, um zu zeigen, daß die durch Horizontalschnitte aus ihnen erhaltenen Ringflächen, deren innerer Teil, wenn sie durch den Scheitel der Kugel oder die Spitze des Kegels gelegt werden, den Wert von Null annimmt, aber es gelingt ihm nicht, auf Atome von endlicher Ausdehnung zu kommen, wie sie Demokritos von vornherein angenommen hatte. Daß freilich das Unendliche nur ein relativer Begriff ist, macht er an dem Beispiel der Zahlen und ihrer Quadrate klar. Nimmt man eine begrenzte Anzahl von Zahlen, so bleibt die der in denselben Grenzen liegenden Quadratzahlen weit hinter jener zurück und um so mehr, je größer man die Zahlen nimmt, die man zuläßt; die ersten 100 Zahlen haben 10, die ersten 1000 nur 31, nimmt man aber alle Zahlen, so erhält man ebensoviel Quadratzahlen, denn jede Zahl hat ja ihre Quadratzahl. So arbeitet er den Begriff des Unendlichen zu größerer Klarheit heraus, hinsichtlich der Erklärung der Konstitution der Materie bringt ihn dies aber nicht weiter.

Wenn wir nun einen festen Körper in so kleine Teilchen zerlegen, daß diese nicht mehr teilbar sind, „warum," frägt Galilei, „sollen wir nicht sagen können, dieser Körper sei in ein einziges Kontinuum zurückgekehrt, vielleicht in eine Flüssigkeit, wie Wasser oder Quecksilber?" Und so findet er keinen besseren Ausweg, als anzunehmen, das Flüssige sei ein Kontinuum, weil es in seine unendlich kleinen unteilbaren Komponenten aufgelöst ist[1]). Dadurch glaubt er auch die vollkommene Durchsichtigkeit des Wassers erklären zu können. Das Schmelzen eines Metalles aber hat dann darin seinen Grund, „daß die kleinsten Teilchen des Feuers in die engen Poren des Metalles hineintreten (in welche wegen ihrer Kleinheit weder Luft noch viele andere Flüssigkeiten eindringen können); hierdurch konnten die kleinsten Vakuums zwischen denselben erfüllt werden, so daß die kleinsten Teilchen von der Kraft, mit welcher eben diese Vakuums sich gegenseitig anziehen und eine Trennung verhindern, befreit werden; und da sie sich nun frei bewegen können, wird die Masse flüssig, und bliebe so, solange die Feuerteilchen zwischen ihnen blieben; sobald letztere aber abziehen, hinterlassen sie die früheren leeren Räume; damit kehrt die gewöhnliche Attraktion wieder und damit das Festhalten der Teilchen[2])."

---

[1]) Galilei, Discorsi, 1. Tag. Ostwalds Klassiker Nr. 11, S. 37.
[2]) Ebenda S. 19.

Eine Ansicht über das Wesen der Luft hat Galilei nicht ausgesprochen, wohl aber tritt er dafür ein, daß sie schwer sei. Wenn er sich dabei auch auf des Aristoteles Versuch mit den beiden Schläuchen beruft, so hat er doch nicht versäumt, eigene beweiskräftigere Versuche anzustellen. Auf dreierlei Weise hat er das Gewicht der Luft zu bestimmen gesucht; das Verfahren, welches ihm mit Recht als das zweckmäßigste erschien, bestand darin[1]), daß er in einen mit gewöhnlicher Luft gefüllten Glasballon Wasser einpreßte, ohne der Luft den Austritt zu gestatten. Dies gelingt bequem so weit, daß drei Viertel des Ballons damit angefüllt werden. Darauf wird der Hals des Ballons mit Blase zugebunden und er nun, den Hals nach oben, gewogen. Durchstoßen der Blase läßt nun so viel Luft austreten, als der Raum mit Wasser beträgt. Der wieder gewogene Ballon zeigt nun ein um das Gewicht der durch das eingepreßte Wasser vertriebenen Luft vermindertes Gewicht. So ergab sich das Wasser als 400 mal schwerer als die Luft.

Hatte nun Galilei in der bereits mitgeteilten Weise den Widerstand der Körper gegen das Zerreißen untersucht, so hat er uns auch die Ergebnisse seiner Arbeiten über die Bruchfestigkeit hinterlassen. Er betrachtet zunächst einen mit dem einen Ende eingemauerten prismatischen Balken, der an seinem andern ein Gewicht trägt. Solche hatte bereits Leonardo zum Gegenstand seiner Untersuchungen gemacht[2]), während er aber nur die Formänderungen ins Auge faßte, untersuchte Galilei die Festigkeitsverhältnisse und gelangte, indem er das Prisma als Hebel auffaßte, zu einer Reihe von Sätzen über die Festigkeit, die freilich die Dehnung der oberen und Zusammenpressung der unteren Balkenteile noch nicht berücksichtigen. So findet er, daß sich die absolute Zugfestigkeit des Prismas zu der relativen oder Bruchfestigkeit verhält, wie seine Länge zur Hälfte der Höhe, welche letztere beim Zylinder der Halbmesser des Grundkreises sein würde[3]); „daß ein Lineal in steiler Lage eher dem Bruche widersteht, als wenn es flach liegt, und zwar genau im Verhältnis der Breite zur Dicke"[4]); daß

[1]) Ebenda S. 72. Vgl. auch Favaro, Rivista di fisica, matematica e scienze naturali. 9. Jahrg., Nr. 108. Pavia 1908.

[2]) Leonardo da Vinci, Codice atlantico. Vgl. Th. Beck, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1906, Bd. 50, S. 526.

[3]) Galilei, Discorsi, 2. Tag. Ostwalds Klassiker Nr. 11, S. 98.

[4]) Ebenda S. 99.

bei ungleich langen sonst gleichen Prismen oder Zylindern die an ihrem Ende senkrecht angebrachten Kräfte proportional dem Quadrate ihrer Längen wirken, bei ungleicher Dicke aber die Bruchfestigkeit im kubischen Verhältnis zur Dicke steht[1]; daß sich demnach die Bruchfestigkeiten von gleich langen Prismen oder Zylindern in der anderthalbfachen Potenz zu den Gewichten verhalten[2]; daß Prismen und Zylinder ungleicher Länge und Dicke eine Bruchfestigkeit proportional den Kuben ihrer Dicke und umgekehrt proportional ihren Längen haben[3] (wobei Galilei aber, wie v. Oettingen hervorhebt, die Belastungen als am Ende des Hebels angebracht annimmt)[4]; daß bei ähnlichen Prismen und Zylindern die zusammengesetzten Momente, wie sie durch Gewicht und Länge bedingt sind, ein Verhältnis gleich der anderthalbfachen Potenz der Zugfestigkeiten ihrer Grundflächen haben[5]; daß von schweren Prismen oder Zylindern ähnlicher Gestalt es nur einen einzigen gibt, der bei Belastung durch das eigene Gewicht sich an der Grenze zwischen Zerbrechen und Ganzbleiben befindet, so daß jeder größere Körper, unfähig sein eigenes Gewicht zu tragen, zerbrechen, ein kleinerer widerstehen wird[6]. Hieraus leitet er ab, daß die Größe aller von Natur und Kunst geschaffener Werke nicht unbeschränkt sein könne, wenn sie sich zu erhalten imstande sein sollen. Indem er endlich die Festigkeitsverhältnisse eines freien an einem seiner Punkte unterstützten Zylinders, an dessen Ende zwei Kräfte angreifen, untersucht, findet er, daß sich die Bruchfestigkeiten in zweien seiner Punkte verhalten wie die Produkte aus den Kräften in ihre Abstände von den Unterstützungspunkten. Auch gelingt es ihm, zu zeigen, daß ein einerseits durch eine Ebene, andererseits durch eine parabolische Zylinderfläche begrenzter Körper überall den gleichen Widerstand ausübt[7]. Das feste Haften der Fasern eines Seiles aneinander führt er auf die Reibung zurück, die ein Seil auch an einem Holzzylinder festhalten läßt, um den es in Schraubenlinien gewunden ist und fest angezogen wird[8].

---

[1] Ebenda S. 100.
[2] Ebenda S. 101.
[3] Ebenda S. 102.
[4] Ebenda, Anmerkung 12, S. 134.
[5] Ebenda S. 104.
[6] Ebenda S. 108.
[7] Ebenda S. 118.
[8] Ebenda S. 10.

Mit den Flüssigkeiten hat sich Galilei hauptsächlich insoweit beschäftigt, als er der scholastischen Ansicht, daß die Form der Körper von wesentlichem Einfluß auf ihre Fähigkeit zu schwimmen sei, entgegenzutreten sich veranlaßt sah. In seinem Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono und in seinen Discorsi e dimostrazione matematiche weist er die Richtigkeit der Ansicht des Archimedes nach, wonach diese Fähigkeit lediglich in der Verschiedenheit des spezifischen Gewichtes begründet ist. Seine Untersuchungen zum Beweise dieser Ansicht erschwert er sich aber dadurch, daß er sich die Flüssigkeit, in der die Körper schwimmen, in ein Gefäß eingeschlossen denkt, ohne freilich dem Druck, den die Flüssigkeit auf die Gefäßwände ausüben muß, irgendwelche Beachtung zu schenken. Den gleichen Stand einer Flüssigkeit in den ungleich weiten Schenkeln eines kommunizierenden Rohres erklärt er aus der Gleichheit der Momente der Geschwindigkeiten bei Schwankungen der Flüssigkeitsspiegel, da zwar die Steighöhe im engen Schenkel die Fallhöhe im weiten soviel mal übertreffen wird, als die Weite des weiteren die des engeren Schenkels oder als die im weiten Schenkel enthaltene Wassermasse die im engen befindliche, aber wie bei einem bewegten Körper das Moment der Geschwindigkeit der Bewegung kompensiert wird durch das Moment, das ein anderer schwerer Körper aus seinem Gewichte zieht, so kann es nicht verwundern, wenn das sehr rasche Ansteigen der kleinen Wassermenge dem langsamen Herabsinken der großen widersteht. Beobachtet man doch dasselbe bei der römischen Wage, wo ein Gewicht von 2 Pfund eines von 200 Pfund im Gleichgewicht hält, weil in derselben Zeit das erste einen hundertmal größeren Raum durchläuft als das zweite, infolge der verschiedenen Längen der Wagebalken. Weiter führt Galilei einige hübsche Beobachtungen, z. B. die, daß wenn es auch nicht gelingt, einer mit angeklebten Sandkörnern versehenen Wachsstange genau das Gewicht des gleichen Volumens Wasser zu geben und die Stange in ihm schwebend zu erhalten, dies wohl erreichbar ist, wenn man sie auf Salzwasser legt und süßes Wasser darüber gießt[1]), oder daß man einen so hergerichteten Stab zum Niedersinken oder Steigen zwingen kann, wenn man dem ihn tragenden Wasser warmes oder kaltes zusetzt. Dünne plattenförmige Körper können auf Wasser gelegt schwimmen, solange sie nicht ganz eingetaucht sind,

[1]) Ebenda S. 63.

sie rufen dann eine Vertiefung im Wasser hervor, das sich an ihren Rändern etwas über sie erhebt. Unbegreiflich aber ist es, wie die Wassertropfen oben auf einem Blatte sich erhalten, was die innere Zähigkeit sicher nicht bewirkt. Die Ursache muß also außerhalb gesucht werden, denn „wenn die Teile des obenliegenden Wassertropfens, während derselbe von Luft umgeben ist, einen inneren Grund zum Zusammenhalten hätten, so würde solches noch sicherer stattfinden, wenn sie in einer Umgebung sich befänden, in welcher sie weniger Tendenz hätten, niederzusinken als in der Luft; solch ein Medium wäre jede Flüssigkeit, die schwerer ist als Luft, z. B. Wein: umgibt man aber den Wassertropfen mit Wein, so ist es fraglich, ob man das ausführen könne, ohne daß die Wasserteilchen, die von innerer Zähigkeit gehalten sein sollten, sich auflösten; aber das geschieht nicht eher, als bis die fremde Flüssigkeit genähert wird, wobei das Wasser sofort sich ausbreitet, ohne eine Auflösung und Vermischung abzuwarten[1])." Jene Wirkung kommt von außen, vielleicht von der Luft her, die eine große Unverträglichkeit gegen das Wasser zu haben scheint. Das ist auch der Grund, warum das Wasser aus einer sehr engen Öffnung in die Luft nicht ausfließt, während dies geschieht, wenn man die enge Öffnung des mit Wasser gefüllten Gefäßes in Rotwein senkt. Dieser steigt sofort in roten Streifen in das Wasser, während dieses sich langsam in den Wein senkt.

Die Erscheinungen der Diffusion und der Oberflächenspannung, durch welche jene Galilei unverständlich bleibenden Tatsachen erklärt werden, sind erst lange nach seiner Zeit gefunden worden. Mit Befriedigung sieht man, wie richtig er diese beobachtete, und wie seine Erklärungsversuche als erster Schritt in der Richtung der Entwicklung jener Lehren sich darstellen.

ϰ) Die Erfindung der Pendeluhr durch Galilei.

Es ist die letzte Idee des bereits längst erblindeten Gelehrten, mit der wir uns hier schließlich noch zu befassen haben. Aber gerade sie ist ihm auch noch in neuester Zeit immer wieder streitig gemacht worden[2]),

[1]) Ebenda S. 64.

[2]) Van Swinden, Verhandelingen over Huygens als uitvinder der slingeruurwerken. Verhandlingen der eerste Klasse van het Kon. Nederl. Instituut van Wetenschappen. 3. deel. Amsterdam 1817. — Huygens, Oeuvres Complètes, Bd. VII, La Haye 1897, S. 281 ff., Note 3. — Wohlwill, Münchener medizinische Wochenschrift 1903, Nr. 42.

doch glaube ich mit Sicherheit dargetan zu haben, daß man hierzu keineswegs berechtigt gewesen ist.[1]) Wenn auch Galilei, vielleicht schon während seines Pisaner Aufenthaltes, den Isochronismus der Pendelschwingungen, den er übrigens in aller Strenge für richtig hielt[2]), entdeckt hatte, so war er doch nicht darauf gekommen, ihn als Regulator der Uhren zu verwenden und hatte, wie wir sahen, bei seinen Fallversuchen sich einer Wasseruhr bedient, die sich in nichts von der der alten Babylonier unterschied. Auch als er daran dachte, auf die Beobachtung der Jupitermonde eine Längenbestimmungsmethode zu gründen und dieserhalb 1612 mit dem spanischen Hofe Unterhandlungen angeknüpft hatte, die mit Unterbrechungen geführt, 1630 ergebnislos abgebrochen wurden, dachte er noch nicht daran, zu einer genaueren Zeitbestimmung die Schwingungen eines Pendels zugrunde zu legen. Erst als er im Jahre 1635 mit den Generalstaaten der Niederlande, wohl durch Vermittelung Elzeviers, zu demselben Zweck in Unterhandlungen getreten war, teilte er der von jenen zu ihrer Führung gewählten Kommission, zu welcher Willem Blaeuw, Martinus Hortensius, Laurens Reaal und wahrscheinlich auch der bereits bei der Geschichte des Fernrohrs erwähnte Isaak Beeckmann gehörten, den Plan, das Pendel als Zeitzähler zu benutzen, in einem an Reaal gerichteten Brief mit. Ein am Pendelgewichte befestigter Stift sollte eine am einen Ende befestigte Borste beim Hingang über die schiefe Ebene der dreieckigen Zähne eines sehr leichten Sperrädchens hinlegen, beim Hergang aber auf den radialen Teil des Zahnes treffend, das Rad um einen Zahn zurückzuschieben[3]). Die Einrichtung des Pendels beschreibt er folgendermaßen: „Ich bediene mich nicht eines an einem Faden hängenden Gewichtes, sondern eines Pendels aus einem schweren, soliden Stoff, wie Messing oder Kupfer; diesem Pendel gebe ich die Form eines Kreisausschnittes von 12 bis 15 Graden, dessen Radius 2 bis 3 Spannen beträgt; je größer er ist, desto weniger langsam wird er zum Stehen kommen. Diesen Sektor verdicke ich alsdann im mittleren Radius und verdünne ihn

[1]) Gerland, Über die Erfindung der Pendeluhr. Bibliotheca mathematica, 3. Folge, 3. Bd., S. 234.

[2]) Wie der Brief an Reaal vom 6. Juni 1637 beweist. Huygens, Oeuvres complètes, T. III, La Haye 1890, S. 489. Vgl. Bosscha, Christian Huygens. Deutsch von Engelmann. Leipzig 1895, S. 55.

[3]) Albèri, Le Opere di Galilei, Bd. VII. Firenze 1848, S. 170.

auf beiden Seiten, wo ich es so einzurichten suche, daß die Enden in eine hinlänglich scharfe Linie auslaufen, damit ihm, soweit möglich, die Luft nicht widerstehe, welche allein seinen Gang zu verlangsamen strebt. An seinem Mittelpunkte hat er eine Öffnung, durch welche ein Eisen geht, wie jenes, um welches sich eine Wage bewegt; dieses Eisen endigt sich unten in eine scharfe Ecke und ruht auf zwei ehernen Stützen, welche durch die oftmalige Bewegung des Sektors weniger abgenützt werden. Wenn nun der Sektor um einen großen Bogen vom lotrechten Stand entfernt und seinem eigenen Falle überlassen wird (sobald er sich richtig im Gleichgewichte befindet), so legt er eine sehr große Anzahl von Schwingungen zurück, bis er still steht. Damit er aber diese Schwingungen fortsetze und immer weiter aushole, so muß derjenige, der ihm beisteht, ihm von Zeit zu Zeit einen starken Stoß geben[1])." Eine Pendeluhr sollte also der Apparat nicht sein, ob ihn Galilei hat herstellen lassen, wissen wir nicht, nach Holland hat er jedenfalls keinen gesandt. Die Kommission wollte nun mit Galilei mündlich über die neue Art der Längenbestimmung verhandeln, dazu kam es aber nicht mehr. Denn während der Jahre 1637 bis 1639 ereilte der Tod ihre sämtlichen Mitglieder und da auch die Generalstaaten ihr Interesse an der Sache mehr und mehr verloren, so schliefen die Verhandlungen bald ganz ein, da die Erblindung Galileis auch seinerseits ihre Fortführung ihn nicht mehr wünschen ließ. Mußte er doch in seiner Lage einer protestantischen Macht gegenüber besonders vorsichtig sein, eine Vorsicht, die ihn bewog, eine ihm von den Generalstaaten durch die Kaufleute Ebers im Juli 1637 übersandte goldene Kette nicht anzunehmen.

Doch aber beschäftigte ihn die Aufgabe, genaue Zeitbestimmungen mit Hilfe des Pendels zu erhalten, immer noch weiter, und so kam er nach der Erzählung Vivianis kurz vor seinem Tode 1641 dazu, diesen und seinen Sohn Vincenzio die Idee einer Pendeluhr aufzeichnen zu lassen, die das Zählwerk, das er den Holländern hatte anbieten wollen, zu einem Uhrwerk umwandelte. Diese Zeichnung befindet sich noch in der Bibliotheca Palatina in Florenz; sie ist zum Öfteren kopiert worden, am frühesten wohl im Jahre 1659 für Huygens, so daß wir sehr genau über die Einrichtung dieser ersten Pendel-

---

[1]) Ebenda S. 169. Nach der Übersetzung von S. Günther. Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät zu Erlangen, 10. November 1873.

uhr unterrichtet sind[1]). Auf das Räderwerk der Uhr sollte das Pendel durch Vermittelung eines Steigrades hemmend einwirken, eines Rades, das auf der Achse eines an der Drehung der Räder teilnehmenden Getriebes befestigt und mit dreieckigen Zähnen und daumenartigen Stiften auf seiner Stirnfläche versehen war, während die zylindrische Pendelachse so vor dem Steigrad angebracht ist, daß zwei an ihr befestigte, sichelartig gekrümmte Dornen mit dem Pendel vor dem Rade schwingen. Diese Dornen sind nun so gegeneinander verstellt, daß in der äußersten Lage des Pendels nach dem Steigrad hin, der eine unter einen der an dem letzteren angebrachten Daumen greift, während der andere einen Sperrhaken, der in der Ruhelage vor den Zähnen des Steigrades liegt, von diesen weggehoben hält. Schwingt nun das Pendel zurück, so lassen beide Dornen los, das Steigrad rückt um einen Zahn fort, wird aber an der Weiterbewegung durch den wieder aufgelegten Sperrhaken gehindert. So rückt das Steigrad für jede Schwingung um einen Zahn fort, und überträgt durch Vermittelung des Räderwerkes seine Bewegung auf die Zeiger, das Pendel aber führt den Rest seiner Schwingung frei aus. Insoweit ist das Werk lediglich ein Zählwerk, da keine Kraft vorgesehen war, die dem Pendel die verloren gegangene Energie ersetzt hätte. Nun hatte aber nach Vivianis Erzählung Galilei das Pendel an die Uhr mit Gewichten oder an die mit der Feder anbringen wollen, und es wäre in der Tat ein leichtes gewesen, um die Achse des untersten Rades oder um eine dieser aufgesetzten Trommel ein Seil, an welches ein Gewicht gehängt werden konnte, anzubringen. Dessen Zug hätte dann jedesmal den Daumen gegen den unteren Dorn gedrückt und an dessen abgerundetem Ende abrutschend, dem Pendel einen Stoß erteilt, der genügend gewesen wäre, seine Schwingungsweite zu erhalten. Daß dies der Plan des greisen Forschers war, geht aus Vivianis Erzählung hervor, wonach acht Jahre nach des Vaters Tode Vincenzio Galilei die Aus-

[1]) Albèri a. a. O., Supplemento, Taf. II. Biedermann, Bericht über die Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London. London 1877, S. 405. Gerland, Bericht über den historischen Teil der internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in Hofmanns Bericht. Braunschweig 1878, S. 22. — Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 122. — van Swinden a. a. O. — Favaro, Nuovi Studi Galileani. Venezia 1891. — Huygens, Oeuvres complètes, Tome III. La Haye 1890, S. 8.

führung des ihm hinterlassenen Gedankens unternahm und ein Werk soweit zustande brachte, daß er sich mit Viviani von dessen Gangbarkeit überzeugen konnte. Vollendet hat er es freilich nicht, da ihn ein frühzeitiger Tod mitten aus der Beschäftigung damit herausriß. Nach Nellis[1]) Bericht ist es im Jahre 1668 mit sonstigen Gegenständen aus Vincenzios Hinterlassenschaft als altes Eisen versteigert worden.

Vivianis und Nellis Zuverlässigkeit wird freilich angezweifelt, zudem erhält man, wenn man die nach Favaro am besten beglaubigte Zeichnung des Werkes auf seine Gangbarkeit prüft, eine Einrichtung, die wohl die Zeiger hin- und herschwanken, aber nicht fortschreiten ließ. Das hat sogar zu der Annahme geführt, daß Viviani nach der Erfindung der Pendeluhr durch Huygens, auf welche wir zurückkommen werden, die Uhr selbst erfunden und Galilei untergeschoben habe. Da ist es denn von Bedeutung, daß wenn man die 1659 an Huygens gesandte Kopie der von Galilei diktierten Zeichnung zugrunde legt und dies treibende Gewicht zufügt, man ein Werk erhält, welches so lange im Gange bleibt, als der Zug des Gewichtes wirkt, und daß das keine ins Blaue gemachte Annahme ist, beweisen die beiden im Museo di Galilei in Florenz und dem Kensington-Museum in London nach dieser Zeichnung und ihrem Original hergestellten Modelle, die nur aufgezogen werden müssen, wenn sie gehen sollen. Daß ferner das Werk Vincenzios wirklich vorhanden gewesen ist, bezeugt Matteo Campani, der es gesehen hat und als eine „antike und rostige, keineswegs vollendete Maschine" schildert. Die vielfachen Verwirrungen, die die von Galileis Uhr handelnden Berichte aufweisen, haben ihren Grund darin, daß ihre Verfasser, Huygens nicht ausgenommen, für gewöhnlich keinen Unterschied zwischen Zählwerk und Uhr machten und von einer Uhr redeten, sobald nur das übliche Räderwerk vorhanden war, gleichgültig ob das Werk ein das Pendel im Gange haltendes Gewicht besaß oder nicht[2]).

Auch die von Huygens[3]) an der Art der Aufhängung des Pendels geübte und gewiß berechtigte Kritik wird gegenstandslos, wenn man die von dem Blinden diktierte Zeichnung mit der von Galilei in dem Briefe an Reaal beschriebenen vergleicht. Gewiß war die in jener dargestellte Befestigung an einem in zwei Lagern drehbaren

[1]) Albèri a. a. O., Suppl. S. 340 Anm.

[2]) Gerland, Bibliotheca mathematica, 3. Folge, Bd. III, S. 234.

[3]) Huygens, Oeuvres complètes. Tome III. La Haye 1890, S. 12.

Bolzen ebenso unvollkommen, wie die in diesem angegebene Anbringung von Schneiden, die das Pendel tragen sollten, zweckmäßig, und es kann ja nicht zweifelhaft sein, daß Galilei diese gewählt hätte, wenn er dazu gekommen wäre, die Uhr auszuführen.

So dürfen wir die Erfindung der Pendeluhr als das letzte Werk des großen Mechanikers bezeichnen, wenn auch seine Idee nie zur Anwendung gekommen ist. Er hat dabei einen Gedanken vorweg genommen, auf den später Leibniz selbständig kam, der aber erst von Watt für den Bau von Maschinen verwendet wurde, den Gedanken, Teile einer Maschine mit aller Sicherheit aufeinander wirken zu lassen, wenn auch während einer längeren oder kürzeren Periode ihres Ganges der geometrische Zusammenhang ihrer Teile vollständig aufgehoben ist.

e) Kepler und die Optik.

Wie Galilei hat auch Kepler[1]) von scholastischen Ideen ausgehend seine wissenschaftliche Laufbahn begonnen, wie jener sich von ihnen zu fortgeschritteneren Anschauungen durchgekämpft, aber indem er eine ideale Denkweise mit mathematischer Verstandesschärfe verband, gelang es ihm, die dichterisch schönen Anschauungen der Alten mit den mechanisch durchgebildeten der Zeitgenossen Galileis zu vereinen und dem schönen Gedanken der Harmonie der Sphären einen Inhalt zu geben, der ihn mit der einfachen Klarheit des kopernikanischen Systemes zu einem harmonischen Ganzen zusammenschloß. Räumten doch seine drei berühmten Gesetze die wichtigsten Einwände dagegen hinweg, aber als Protestant kam er nicht mit der Kirche und den sie damals bereits beherrschenden Jesuiten in Konflikt. Seine Arbeiten erstreckten sich freilich, so bedeutungsvoll sie waren, nicht auf so ausgedehnte Gebiete, wie die Galileis, und so hat man ihm nie die Bedeutung für den Fortschritt der Naturwissenschaft zuerkannt, wie dem Entdecker der Fallgesetze. Und doch gingen seine Leistungen innerhalb der Grenzen, die sie einhielten, über die des letzteren noch hinaus, stand die Art seiner Forschung hinter der von dem großen Italiener geübten in keiner Weise zurück.

Johannes Kepler war am 27. Dezember 1571 zu Weil der Stadt in Württemberg von protestantischen Eltern, deren Vermögens-

---

[1]) Kepler schreibt seinen Namen ebenso oft mit einem, wie mit zwei p; beide Schreibweisen sind also gleich berechtigt.

lage keineswegs glänzend war, geboren. Sein Vater war vielfach in fremden Kriegsdiensten abwesend. Hauptsächlich seiner schwächlichen Natur verdankte er seine Bestimmung für das Studium. Nach Besuch der Maulbronner Klosterschule wurde er, empfohlen durch seine guten Zeugnisse, in das Tübinger Stift aufgenommen und seine Lebenslage durch Verleihung eines Stipendiums zu einer sorglosen gemacht. Hier lehrte Maestlin (1550 bis 1631), dem es als dem ersten gelang, das aschfarbene Licht des nur als Sichel von der Sonne beleuchteten Mondes aus der Reflexion des Sonnenlichtes durch die Erde zu erklären, welches noch Tycho für Reflexlicht der Venus gehalten hatte. Von diesem tüchtigen Manne in die Mathematik und Astronomie eingeführt, folgte Kepler bereits 1594 der Aufforderung der Stiftsoberen, sich an die evangelische Stiftsschule in Graz zu begeben, die von den Württembergern einen Lehrer der Mathematik erbeten hatte. Das Verhängnis, sich sein ganzes Leben lang auch mit Astrologie befassen zu müssen, begann bereits hier, und wenn er solche Arbeiten auch des Gelderwerbs wegen nicht von der Hand weisen konnte, so hat er sie doch auch oft genug dazu benutzt, auch den Mächtigen seiner Zeit vom Aberglauben abzuraten und auf höhere Triebfedern ihres Handelns hinzuweisen. In Graz verfaßte er 1596 sein erstes größeres Werk, das er unter dem Titel des Mysterium cosmographicum herausgab und das Maestlins begeisterten Beifall fand, aber auch die Aufmerksamkeit Galileis und Tycho Brahes erregte. Im folgenden Jahre verheiratete er sich mit Barbara Müller, und so mußte es ihm von besonderem Werte sein, daß die eintretende Gegenreformation, die seine protestantischen Kollegen ihrer Stellen beraubte, ihn in der seinigen beließ. Das verdankte er seinen astronomischen Kenntnissen. Männer, die über solche verfügten, brauchten damals die Jesuiten, namentlich um ihre Stellung in China zu behaupten, und dafür schien ihnen Kepler vor andern brauchbar. Aber seine Lage, die der Tod seiner beiden Kinder zu einer besonders traurigen machte, wurde trotz einer Reihe von Arbeiten, die er damals veröffentlichte, eine so mißliche, daß er beschloß, Tycho, der zu jener Zeit bereits in Prag lebte, um eine Anstellung anzugehen. Eine solche erhielt er und siedelte an die Moldau über, fühlte sich aber dort durch das herrische Benehmen des kaiserlichen Astronomen abgestoßen, während sich seine Lage in pekuniärer Beziehung kaum besserte. Denn wenn auch die ihm ausgesetzte Besoldung, wie er in einem Briefe an Maest-

lin schreibt, recht gut war, so wurde sie nur sehr unregelmäßig ausgezahlt, und so kam Kepler aus der Geldnot nie heraus.

Bereits 1601 starb Tycho, und sein bisheriger Gehilfe erhielt mit seiner Stelle auch seine langjährigen Beobachtungen zur Bearbeitung, die ihn zur Aufstellung der beiden ersten nach ihm genannten Gesetze, daß die Planeten sich in Ellipsen bewegen, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht, und daß die Radienvektoren ihrer Bahnen in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreiben. Kepler war kein guter Beobachter. Wie er selbst von sich erzählt, war er schwachsichtig und glaubte, „statt einer Mondsichel eine zackige Reihe von zehn Phasen"[1]) zu sehen. Plehn führt dies auf Kurzsichtigkeit zurück, möglichenfalls in Verbindung mit Hornhauttrübungen als Überbleibsel der überaus heftigen Erkrankung an den Pocken, die Kepler in früher Jugend durchgemacht hatte. In keinem Falle hätte er so vortreffliche Beobachtungen wie die Tychos mit unbewaffnetem Auge anstellen können. Auch war es deshalb für ihn von so hohem Werte, im Jahre 1603 einen so tüchtigen Gehilfen, wie Bürgi zu bekommen, der, wie wir sahen, bis 1631 in Prag lebte. Ganz besonders günstig für ihn aber war es, daß Tychos Beobachtungen den Planeten Mars zum Gegenstand gehabt hatten. Unter allen Planetenbahnen besitzt die seinige die größte Exzentrizität. Die daraus sich ergebenden besonders großen Abweichungen von der kopernikanischen Annahme kreisförmiger Planetenbahnen hatten Tychos Aufmerksamkeit gerade auf ihn gelenkt, und gerade er war deshalb am geeignetsten zur Auffindung der obigen Gesetze. Immerhin vergingen noch mehrere Jahre, bis er die Ergebnisse seiner Forschung der Öffentlichkeit übergeben konnte. Dies geschah in dem 1609 in Heidelberg erschienenen Werke: Astronomia nova *αἰτιολόγητος* seu physica coelestis tradita de commentariis de motibus stellae Martis. Ex observationibus S. V. Tychonis Brahe (Neue begründbare Astronomie oder Himmelskunde entnommen aus den Untersuchungen über die Bewegungen des Sternes Mars. Nach den Beobachtungen Tycho Brahes).

Schon früher hatte sich Kepler mit der Optik beschäftigt und bereits 1604 in seinen Ad Vitellionem Paralipomena Reflexion und Brechung des Lichtes behandelt. Galileis Sternenbote regte ihn

[1]) Kepler, Ad Vitellionem Paralipomena. Kap. V, 5. — Frisch, Kepleri Opera, Bd. II, S. 266. Nach der Übersetzung Plehns, Joh. Keplers Dioptrik Ostwalds Klassiker Nr. 144. Leipzig 1904, S. 93.

nun zu eingehenderen Untersuchungen an, deren Frucht die Dioptrik war, eine kleine, aber inhaltreiche im August und September 1610 verfaßte Schrift, die 1611 in Augsburg erschien und die Erfindung des astronomischen Fernrohres enthält. Da sich indessen seine Lage in Prag nicht gebessert hatte, zudem 1611 seine Gattin gestorben war, so suchte er in günstigere Verhältnisse zu kommen, und diese schienen sich ihm in Linz zu bieten, wo ihm die Stände eine Lehrerstelle für Mathematik übertrugen. Er siedelte 1612 dorthin über und blieb daselbst bis 1626. Von dort hat er verschiedene Reisen gemacht, hat den gegen seine Mutter angestrengten Hexenprozeß so geführt, daß er mit der Freisprechung der Angeklagten endete, er hat sich endlich dort zum zweiten Male mit Susanne Reutlinger verheiratet, die ihm in glücklicher Ehe sieben Kinder gebar. Außer mehreren kleineren hat er dort die größeren Werke: Epitome astronomiae copernicanae (Linz 1618, Auszug aus der kopernikanischen Astronomie) und Harmonices mundi Libri V (Linz 1619, Harmonie der Welt) verfaßt. Diese letztere Schrift enthält das dritte der nach ihm genannten Gesetze, welches er am 15. Mai 1618 fand, daß die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten sich wie die Kuben ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne verhalten. In ihr wird auch zum ersten Male für den Wert $\frac{mv^2}{2}$ die Bezeichnung Energie angewendet[1]). Nun aber lag es ihm daran, die auf Grund seiner Gesetze berechneten Rudolfinischen Tafeln zum Drucke zu befördern, der in Ulm geschehen sollte. Er gab deshalb seine Stelle auf, brachte seine Familie in Regensburg in Sicherheit und begab sich selbst nach Ulm, wo die Tafeln 1627 erschienen. Unterdessen hatten seine rückständigen Gehaltsforderungen eine so beträchtliche Höhe erreicht, daß er, keine Möglichkeit sehend, sie einzutreiben, sich gezwungen sah, in die Dienste Wallensteins zu treten, der sich erbot, dies für ihn zu tun. Er zog deshalb nach Sagan, mußte aber bald sehen, daß das Interesse des Herzogs von Friedland, der inzwischen auch Herzog von Mecklenburg wurde, an ihm immer lauer wurde, je weniger Kepler auf des Feldherrn astrologische Neigungen einging. Um ihn zu befriedigen, trug er ihm eine Professur in Rostock an, die aber Kepler ausschlug, um nicht auf die Erfüllung seiner Forderungen verzichten zu müssen. Um sie mit größerer Energie geltend zu machen, begab er

[1]) E. Hoppe, Zum Gedächtnis Leonhard Eulers. Physikalische Zeitschrift 1907, 8. Jahrg., S. 227.

sich 1630 zum Reichstag in Regensburg, fiel aber dort, wohl infolge der Überanstrengung durch die eilige zu Pferde gemachte Reise, in eine schwere Krankheit, die am 15. November 1630 seinem Leben ein Ende machte.

Der frühe und plötzliche Tod des berühmten Mannes, der wie es schien, sein Leben einbüßte, als er die Mittel zu erlangen suchte, es zu erhalten, hat schon früh Veranlassung zu der Erzählung von der bitteren Not, in der er gestorben sein soll, gegeben, sie wurde allgemein für wahr gehalten, seit sie Kästner zum Gegenstand eines Epigrammes gemacht hatte. Im Gegensatz dazu beweist das sofort nach seinem Tode aufgenommene Vermögensverzeichnis, daß er in keineswegs ärmlichen Verhältnissen war. Seine rückständigen Forderungen einzutreiben, die auf 16 000 Gulden angewachsen waren, ist freilich erst seinen Erben gelungen, aber er hat nicht mehr Not gelitten als die übrigen Zeitgenossen des Dreißigjährigen Krieges auch, denen gegenüber er seine ideale Denkungsweise voraus hatte. Seine nachgelassenen Werke nahm sein einziger ihn überlebender Sohn Ludwig, als er sich als Arzt in Königsberg in Preußen niederließ, dorthin mit. Nach dessen Tode kamen sie in den Besitz des Danziger Astronomen Hevel. Aus dem Feuer, das dessen Bibliothek fast ganz vernichtete, wurden sie gerettet und kamen dann, nachdem sie mehrfach den Besitzer gewechselt hatten, größtenteils, namentlich auf Betreiben Eulers, nach Petersburg, wo sie in der Bibliothek der Akademie, bis auf eine Anzahl, die nach Wien gekommen sind, sich noch befinden. Sie sämtlich konnte Frisch zu der Gesamtausgabe der Werke des großen Astronomen benutzen, die er in neun Bänden in den Jahren 1858 bis 1870 mit einem Kommentar versehen herausgegeben hat.

Wie Galilei ging Kepler von den Anschauungen der Alten aus, wie diesen führten ihn seine Arbeiten, durch Beobachtung und Versuch geleitet, zur Entwicklung von neuen Ideen, auf denen die neuere Naturforschung weiter bauen konnte. Bereits Platon hatte im Timaios für die Entfernung der die Planeten tragenden Sphären Zahlenverhältnisse angegeben, Ptolemaios war ihm hierin nachgefolgt. Es liegt auf der Hand, daß solche Zahlen völlig willkürlich sein mußten, so lange die Erde in den Mittelpunkt der Welt gesetzt wurde. Wohl kannte man die Umlaufszeiten der dem Planetensystem angehörigen Weltkörper, hinsichtlich ihrer Entfernungen tappte man jedoch völlig im Dunkeln. Ihre Kenntnis auf die Entfernung der Erde

von der Sonne bezogen, lieferte das kopernikanische System, indem es der ersteren ihren Platz unter den Planeten anwies. Einen harmonischen Zusammenhang dieser Entfernungen gab es nicht, und diese vermeintliche Lücke suchte nun Kepler mit seiner ersten bereits erwähnten Arbeit auszufüllen, deren Idee freilich noch an die Sphären der Alten anschloß. Zwischen ihnen blieben ja kugelförmige Räume, in denen die regulären Polyeder, die Platon schon zur Erklärung der Elementarformen der Elemente herbeigezogen hatte, ihren Platz finden sollten[1]): „Die Erdbahn liefert den Kreis, der das Maß aller übrigen bildet; um ihn beschreibe ein Dodekaeder: der dieses umschließende Kreis ist der des Mars; die Marssphäre begrenze mit einem Tetraeder, der diesem umschriebene Kreis wird der des Jupiter sein. Die Sphäre des Jupiter umschließe mit einem Würfel; der diesem umschriebene Kreis ist der des Saturn. Ferner schreibe der Erdsphäre ein Ikosaeder ein, der von diesem eingeschlossene Kreis wird der der Venus sein. Der Venus schreibe ein Oktaeder ein, und der Kreis in diesem wird dem Merkur zugehören. Und so erhältst du den Grund für die Anzahl der Planeten[2])." Es ist derselbe Kepler, dessen Gesetze über die Planetenbewegung nicht zuletzt Ursache geworden sind, daß uns diese zur Zeit ihres ersten Bekanntwerdens so bewunderte „Harmonie" so fremd anmutet.

Freilich war er bei Beginn seiner schriftstellerischen Laufbahn von solchen Anschauungen noch weit entfernt. Vielmehr schrieb er noch 1604 im Anschluß an Scaliger den Planeten und der Sonne Seelen zu, welche die Bewegungen der ersteren verursachen sollten[3]), und verwarf noch 1606 die Ansicht Giordano Brunos von dem ungleichen Abstand der Fixsterne von der Sonne. Sie sollten sich auf einer Kugelschale befinden, die Sonne aber sollte einen bevorzugten Platz im Weltenraum einnehmen[4]). Daß ihm aber bereits 1596 die Idee einer Kraftwirkung vorschwebte, ergibt sich aus seinem Ausspruch,

---

[1]) Vgl. W. Förster, Johann Kepler und die Harmonie der Sphären. Berlin 1862, S. 21 ff.

[2]) Nach der Übersetzung Plehns. Ostwalds Klassiker Nr. 144, Leipzig 1904, S. 103.

[3]) Kepler, Paralipomena ad Vitellionem. Opera omnia. Ed. Frisch. Bd. II, S. 270.

[4]) Kepler, Stella nova in pede serpentarii. Pragae 1605. Opera omnia. Ed. Frisch, T. II, S. 688.

daß die bewegenden Seelen der Planeten um so schwächer sein müßten, je weiter ihre Träger von der Sonne entfernt wären[1]). 1609 aber ist er von der Idee der bewegenden Seelen abgekommen und zwölf Jahre später will er die Planetenseelen durch eine Kraft ersetzt wissen[2]), die als die eigentliche Ursache der Bewegung der Himmelskörper angesehen werden müsse. Er hält nun dafür, daß die Anziehung zwischen zwei Körpern eine gegenseitige sei, die, indem sie als das Bestreben verwandter Körper, sich zu vereinigen, angesehen werden müsse, nie und nimmer von einem unkörperlichen Punkte ausgeübt werden könne. Das führte ihn zu der weiteren Annahme, daß die Schwere proportional den Stoffmengen der aufeinander wirkenden Teilchen sei, und daß sie in der Weise erfolge, wie sich zwei Magneten anziehen. Mit Hilfe solcher sucht er denn auch seine Ansicht experimentell zu begründen. „Diese Frag' erörtere ich," sagt er[3]), „mit dem Exempel zweier ungleicher Magneten; man lege sie in kleine gleiche Schifflein, lasse sie in einem weiten Geschirr umbschwimmen, sie werden einander entgegenschiffen, der schwächere wird viel, der stärkere wird wenig fürsetzen." Und so sollte, wie er meinte, die Schwerkraft durch die unsichtbaren magnetischen Ketten hervorgerufen werden, die jeden Körper an die unter ihm liegenden oder ihn umgebenden Teile der Erde binden.

In der nämlichen Weise wie die Schwere erklärte er auch die Anziehung zweier Himmelskörper aufeinander, aus der des Mondes auf die Erde aber die Tatsache der Flut des Meeres, eine Erklärung, die Galilei, wie wir sahen, verwarf. Das auf der Erdoberfläche bewegliche Meerwasser würde ganz zum Monde hingezogen werden, wenn es die Erde nicht festhielt. So bildet es nur an der Stelle, über welcher sich der Mond befindet, den Flutberg, welcher seiner Ursache folgt, freilich hinter ihm zurückbleibt, da er ihm mit der entsprechenden Geschwindigkeit nicht folgen kann. Für die Erklärung der Bewegung der Planeten stand ihm der Umstand hindernd im Wege, daß er ebensowenig wie Galilei zum klaren Begriff der Trägheit durchgedrungen

---

[1]) Kepler, Mysterium Cosmographicum. Opera omnia. Ed. Frisch, Bd. I, S. 174.

[2]) Kepler, Mysterium Cosmographicum. 2. Ausgabe 1621. Opera omnia. Ed. Frisch, Bd. I, S. 176.

[3]) Kepleri Opera omnia. Ed. Frisch, Bd. VII, S. 749. Vgl. auch Günther, Joh. Kepler und der tellurisch kosmische Magnetismus, und Laßwitz, Geschichte der Atomistik, Bd. II. Hamburg und Leipzig 1890, S. 547 Note.

ist[1]), wenn er auch mit der Ansicht, daß der Planet geneigt ist, an jedem Orte zu ruhen, an den er von allen andern getrennt gebracht wird[2]), ihm nahe kam. Aber für die Bewegung der Planeten in ihrer Bahn mußte er doch eine Erklärung haben, und die glaubte er durch die von Gilbert[3]) gemachte Annahme zu finden. Wie von allen magnetischen Körpern sollten nach der Meinung des Leibarztes der Königin Elisabeth auch von der Sonne Ausflüsse ausgehen, welche wie Fasern an die der magnetischen Anziehung unterliegenden Körper angriffen. Solche nimmt auch Kepler an und betrachtet sie als in ähnlicher Weise erfolgend, wie andere solche Ausflüsse, zu denen das Licht zu rechnen ist. Obwohl ihm nun wohl bekannt war, daß dessen Stärke mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt, so konnte er sich doch nicht für diese Art der Abhängigkeit der Anziehung von der Entfernung entscheiden, weil die Planeten, die durch die Fasern dieser Ausflüsse in ihrer Bahn fortgetrieben werden sollten, Zentriwinkel beschrieben, die sich wie die Radien ihrer Bahnen, also wie die Entfernungen von der Sonne verhielten. Umgekehrt wie diese, aber nicht wie ihre Quadrate, glaubte er, müsse also die von der Sonne ausgehende Kraft wirken, die sie in Bewegung setzt, und so übersah er, daß die Anziehungskraft der Sonne wie die Schwerkraft der Erde nach allen Richtungen im Raume wirken müsse, da er nur die Aufgabe vor sich sah, die nahezu in der nämlichen Ebene erfolgende Bewegung der Planeten zu erklären. Wenn er so auch nicht das Gesetz der Massenanziehung zuerst aussprach, so wäre Newton wohl, auch von den diese Bewegung regelnden Gesetzen Keplers abgesehen, nicht imstande gewesen, jenes große Gesetz aufzustellen, wenn ihm nicht auch des letzteren weitere Arbeiten zur Verfügung gestanden hätten. Gewiß hat Laßwitz[4]) recht, wenn er von Kepler sagt: „Er hat tatsächlich den Satz, daß die Körper proportional der Masse und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung wirken, zur Diskussion gestellt; und daß er für ein anderes Wirkungsgesetz sich entschied, war für die Entwicklung des Gravitationsgedankens bei weitem nicht so hemmend, als der ganze Gedankengang fördernd, zumal die klarere Fassung der mechanischen Begriffe von

---

[1]) Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes. Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft, Bd. XV, S. 369.

[2]) Wohlwill, ebendaselbst Bd. XV, S. 369.

[3]) Gilbert, De magnete, S. 229.

[4]) Laßwitz a. a. O., Bd. II, S. 546.

selbst auf die Aufhebung der Mängel führen mußte, welche Keplers Ideen noch anhafteten."

In ähnlicher Weise bahnbrechend wie seine Arbeiten über die Mechanik des Himmels waren Keplers optische Arbeiten. Freilich teilen sie mit jenen das Geschick, daß die frühesten noch die älteren Ansichten vertreten, welche die späteren überwinden, während diese wiederum nur die Grundlage abgaben, auf denen fußend ein späterer Forscher das Gesetz entwarf, das jetzt noch in Gültigkeit ist. Auf der anderen Seite aber bieten auch diese Arbeiten soviel des Haltbaren und Neuen, daß wir uns den Forschern nur anschließen können, welche in Kepler nicht nur den Erneuerer und Förderer, sondern den eigentlichen Begründer der Lehre von der Brechung des Lichtes sehen[1]). Demgemäß haben denn auch die beiden hierher gehörigen Schriften unseres Forschers einen ganz verschiedenen Wert; es sind, wie bereits dargelegt wurde, die „Ergänzungen zum Vitellio" und die Dioptrik. Nur die fünf ersten Kapitel der Ergänzungen sind optischen Problemen gewidmet, die sechs übrigen beschäftigen sich mit astronomischen Gegenständen. Im ersten Kapitel handelt Kepler von der Natur des Lichts und den Farben. Der dort zum ersten Male klar bewiesene Satz, daß die Lichtstärken divergierender Strahlen im umgekehrten Verhältnis der sie auffangenden Ebenen abnehmen, ist die Grundlage der Photometrie geworden, die Erklärung der Farben dagegen hat sich nicht behaupten können. „Er bedient sich so wunderbarer Worte, um ihrer Natur beizukommen," sagt darüber Goethe[2]), „daß wir sie nicht zu übersetzen wagen." Er schaltet sie im Wortlaut ein und legt sie nach seiner Weise aus. Gleichwohl müssen wir das Wagnis unternehmen, wollen freilich auch zunächst den Wortlaut hersetzen[3]): »Color est lux in potentia, lux sepulta in pellucidi materia, si jam extra visionem consideretur; et diversi gradus in dispositione materiae causa raritatis et densitatis seu pellucidi et tenebrarum; diversi item gradus luculae, quae materiae est concreta, efficiunt discrimina colorum.« Das würde wörtlich übersetzt heißen: „Farbe ist Licht in Steigerung, Licht begraben in durchsichtigem Stoff, wenn es außerhalb der Sehrichtung betrachtet würde; und die verschiedenen Stufen in der An-

[1]) Wilde, Geschichte der Optik. 1. Teil. Berlin 1838, S. 210.

[2]) Goethe, Farbenlehre. Polemischer Teil. Ausgabe in 6 Bänden. Stuttgart 1863, Bd. VI, S. 355.

[3]) Kepler, Ad Vitellionem Paralipomena. Cap. II.

ordnung des Stoffes infolge der geringeren oder größeren Dichte, oder der Durchsichtigkeit und der Verdunkelung; ebenso bewirken die verschiedenen Grade der Lichtaussendung, welche dem Stoffe eigentümlich ist, die Verschiedenheit der Farben." Man wird sich Goethes Meinung anschließen dürfen, daß Kepler die Farbe nur im Vorbeigehen behandelt, da sie ihm, dem alles Maß und Zahl ist, nicht von Bedeutung sein kann. Gleichwohl versucht er eine Auslegung der dunkelen Stelle und glaubt, daß die Erklärung der Farben des Regenbogens sie verständlich machen könne, dessen Farben an der Grenze des Lichtes und Schattens auftreten und aus einer Schwächung des Lichtes und aus einem Überzug wässeriger Materie entstehen. Über das Wesen der Farbe ist in diesen Äußerungen offenbar nichts ausgesagt, doch wird man darin das Bestreben Keplers finden, seine gemachten Beobachtungen zu beschreiben, und so fügt er hinzu, daß Schwarz die Farbe sei, die kein Licht aussende, weil sie alles Licht verzehre und deshalb die wärmste Farbe sei.

Im zweiten Kapitel beschreibt er einen hübschen Versuch, indem er mit Hilfe eines gespannten und durch eine eckige Öffnung gezogenen Fadens zeigt, daß durch eine solche, von einem leuchtenden Körper stammendes Licht nicht ein Bild der Öffnung, sondern das des Gegenstandes entwirft, wie es für die Sonne schon Maurolycus gezeigt hatte. Wichtiger ist der Inhalt des dritten Kapitels, weil es gegen Eukleides und seine Nachfolger beweist, daß der Ort eines durch einen sphärischen Spiegel erzeugten Bildes keineswegs immer in der Senkrechten liegt, die von dem Gegenstand auf die spiegelnde Fläche gefällt wird und weil es wohl zum ersten Male auf die Rolle aufmerksam macht, welche das Sehen mit zwei Augen bei der Beurteilung der Entfernung eines Gegenstandes spielt.

Den Inhalt des vierten Kapitels bildet die Brechung des Lichtes, einen Gegenstand, den Kepler später in seiner Dioptrik ausführlicher behandelt hat. Es wird sich empfehlen, ihn in Verbindung mit jenem Werke zu betrachten, zunächst aber auf den Inhalt des fünften Kapitels einzugehen, das das Auge und die Art des Sehens zum Inhalt hat und sich schon deshalb sehr von den früheren Arbeiten über den nämlichen Gegenstand unterscheidet, als ihm eingehendere anatomische Untersuchungen des Sinnesorganes, namentlich die des Felix Plater, zur Verfügung standen, als seinen Vorgängern. Er kannte die drei den Augapfel umhüllenden Häute und die sie bergenden drei

Flüssigkeiten, als deren eine die Linse auftritt; ebenso waren ihm die Ziliarfasern bekannt, als deren Wirkung er bereits die Akkomodation des Auges auf verschiedene Entfernungen ansah. Die Entstehung des umgekehrten und dem Gegenstande symmetrischen Bildes führt er auf die Brechung in der Linse zurück, die die von einem Punkte des betrachteten Gegenstandes ausgehenden Kegel divergierender Strahlen in einen ebensolchen konvergierender verwandelt, dessen Spitze in die Netzhaut fällt. Daß wir trotzdem die Gegenstände aufrecht sehen, führt er, wenn auch noch nicht mit aller Klarheit auf den Umstand zurück, daß wir den Ort des betrachteten Gegenstandes in die Richtung setzen, in der die Strahlen in unser Auge kommen, dieses also nach oben richten, wenn der Punkt hoch liegt, es aber senken, wenn er sich in geringerer Höhe befindet. So sieht er auch den Grund der Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit in dem Umstand, daß sich die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden Strahlen je nach der Beschaffenheit des Auges vor oder hinter der Netzhaut schneiden, eine Eigenschaft, die durch Gewöhnung und Lebensweise erworben werde, also nicht angeboren sei. Im Alter würden die Augen schwächer und weniger fähig, ihre Achsen auf einen Punkt zu richten. Die Tatsache, daß der dunkle Mond bei Mondfinsternissen kleiner als der beleuchtete zu sein scheint, erklärt er aus dem Umstand, daß die von den Punkten eines so entfernten Gegenstandes ausgehenden Strahlenkegel sich vor der Netzhaut schneiden, so daß wir ihn auch bei der Erklärung dieses Problems bereits den Weg als erster betreten sehen, der die neuere Wissenschaft zu ihren großartigen Erfolgen führte.

Das nämliche beobachten wir auch bei seinem Bestreben, das Brechungsgesetz zu finden. Seine experimentellen Untersuchungen hatten ihm gelehrt, daß die von Ptolemaios behauptete Proportionalität des Brechungs- und Einfallswinkel nur für Einfallswinkel unter 30° zu Recht beständen. Bei größeren Winkeln aber gab die Beobachtung Werte, welche weit über die berechneten Winkel hinausgingen. Dabei muß festgehalten werden, daß Kepler unter Brechungswinkel die Ablenkung des Strahles durch die Brechung versteht. Für solche größere Winkel mußte also dem aus seinem Verhältnis berechneten Brechungswinkel ein Wert hinzugefügt werden, der von einem bestimmten Werte des ersteren an mit immer größerer Geschwindigkeit zunehmen, aber doch von ihm abhängen mußte. Das ließ sich am besten durch Einführung einer trigonometrischen Funktion bewerk-

stelligen, und als solche fand Kepler die Sekante am geeignetsten. So fügte er denn der Formel des Ptolemaios, die den Einfallswinkel α gleich dem Brechungswinkel β mal einer Konstanten m, also $\alpha = m\beta$ setzt, ein weiteres Glied von der Form $m_1 \sec \beta$ hinzu, so daß also seine Formel für den Brechungswinkel sich als $\alpha = m\beta + m_1 \sec \beta$ darstellt. Das eigentliche Brechungsgesetz hatte er damit nicht gefunden, glaubte dies auch selbst nicht, und Plehn[1]) denkt daran, daß an diesem Mißerfolg die von der jetzigen abweichende Definition des Brechungswinkels schuld sei. Die weitere Annahme, daß die Brechung ihren Grund in dem größeren Widerstande des dichteren Mittels habe, und daß demnach die brechende Kraft mit der Dichtigkeit des brechenden Mittels zunehme, mußte er fallen lassen, als ihm Thomas Harriot in London (1560 bis 1621) brieflich mitteilte, daß er die Brechungskraft von Olivenöl oder Terpentinöl größer gefunden habe als z. B. die des Wassers oder des Weins, obgleich das spezifische Gewicht der ersteren Flüssigkeiten kleiner ist als das der letztgenannten[2]).

In seiner Dioptrik nahm Kepler die Untersuchungen über die Brechung wieder auf und suchte seine früheren Annahmen durch Experimente zu beweisen, wobei er anstatt eines Lichtstrahles die Grenze des durch einen Körper hervorgerufenen Schattens benutzte. So schön aber diese Versuche auch ausgedacht waren, zu einem weiteren Ergebnis führten sie nicht, doch befähigten sie ihn, zu einer Untersuchung der Wirkungen von Linsen verschiedener Form und deren Verbindungen auf die sie treffenden Lichtstrahlen, da bei diesen größere Winkel als 30° nicht vorkamen, für diese aber die von Ptolemaios gegebene Beziehung völlig ausreichte. Den Brechungswinkel, welcher einem bestimmten Einfallswinkel entspricht, suchte er auf verschiedene Weise experimentell zu bestimmen. Er bedeckte zu diesem Ende die eine Seite eines Parallelepipeds aus durchsichtigem Stoff mit einem dünnen Brettchen, dessen Länge die der Parallelepipedseite übertraf, und verglich die Länge des Schattens des Brettchens in der Luft und im Parallelepiped. Oder er ließ Sonnenstrahlen auf einen durchsichtigen Zylinder fallen, durch dessen Mitte senkrecht zur Achse ein Loch gebohrt war. Der Rand der oberen Endfläche wurde mit einer Kreisteilung

[1]) Plehn, Ostwalds Klassiker Nr. 144. Leipzig 1904, S. 87.

[2]) Epistolae ad Keplerum scriptae. Ed. Hanschii. Operum J. Kepleri Tom. I. Francof. ad. M. 1718. Vgl. auch Wilde, Geschichte der Optik. 1. Teil. Berlin 1838, S. 190.

versehen und nun von dem einen Ende des in die Sonne gestellten Zylinders, welches der Lichtquelle zugekehrt war, ein undurchsichtiger Griffel um den Zylinder herumgeführt, dessen Schatten jedesmal den Brechungswinkel bestimmen ließ. Dies führte ihn zu dem Satz, „daß genau gemessene Refraktionen nicht den Neigungen in der Luft proportional sind[1])". Dabei entgeht ihm nicht, daß aus einem Glaswürfel, den Licht durchsetzt, Strahlen, die unter einem Winkel, der eine gewisse Größe überschreitet, auf die Grenzfläche auffallen, nicht mehr gebrochen werden können, eine Bemerkung, die ihm die Entdeckung der totalen Reflexion sichert. So ist es möglich, daß durch Vermittelung eines solchen durchsichtigen Körpers Schatten in die Richtung nach der Sonne geworfen werden können. Die Untersuchung der Brechung im Prisma läßt ihn dann die Spektralfarben beobachten. Außer dem nach zweimaliger Brechung in sie zerlegten Strahl beobachtet er den an der Fläche, auf die das Licht trifft, reflektierten und den an der dritten nach zweimaliger Brechung und einmaliger Reflexion austretenden, dem er die Farbe der Substanz des Prismas zuschreibt, während in ihm doch auch, wenn auch wenig deutlich, Spektralfarben auftreten müssen.

Der übrige Teil der Schrift ist der Untersuchung der Linsen gewidmet, indem er die Brechung aller auf eine solche fallenden, von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen betrachtet. Ehe er sich aber zu den Linsen wendet, untersucht er die Brechung in einer einzigen konvexen Fläche, indem er eine plankonvexe Linse zugrunde legt, deren Öffnung er jedoch nicht über 30° hinausgehen läßt. Gestützt auf die so erhaltenen Ergebnisse findet er nun den Vereinigungspunkt paralleler Strahlen für eine bikonvexe, gleichseitige Linse ungefähr dem Halbmesser der sie begrenzenden Kugelfläche gleich und zeigt, daß ein in dem doppelten Abstand vor der Linse befindlicher Gegenstand in dem nämlichen Abstand ein Bild hinter der Linse entwirft, bestimmt die Lage der Linsenbilder und macht auf die hohe Temperatur im Vereinigungspunkte der auf die Linse fallenden Sonnenstrahlen aufmerksam. Dabei löst er auch die Aufgabe, nachts mit einer Konvexlinse möglichst weit hinaus Licht zu werfen, indem er das Licht in den Brennpunkt eines hinter ihm gehaltenen hohlen Kugelspiegels

---

[1]) Keplers Dioptrica. Lehrsatz XII. Nach der Übersetzung Plehns. Ostwalds Klassiker Nr. 144, S. 10.

und in den einer vor ihm befindlichen bikonvexen Linse stellt, und legt so den Grund zu der Konstruktion der optischen Agenten für Leuchttürme. Sodann ergänzt er seine in den Paralipomena über das Sehen ausgesprochenen Forschungsergebnisse. Da er gefunden hat, daß die Brechungen in einer sphärischen Oberfläche der Inzidenz nicht proportional sind, also Strahlenbündel, die in verschiedenen Abständen vom Mittelpunkt der Linsenöffnung auffallen, sich in verschiedenen Entfernungen von diesem Punkte auf der optischen Achse schneiden, auf dem Augenhintergrund aber scharfe Bilder entworfen werden, so glaubt er, daß dessen Kristallfeuchtigkeit eine konvexe Linse von hyperbolischer Gestalt vorstelle. Die von ihr entworfenen Bilder dringen sie verändernd in die Netzhaut ein, aus welchem Umstand sich die lang andauernde Nachwirkung eines angestrengt angeschauten starken Lichtes erklärt. „Sehen aber heißt die Reizung der Netzhaut fühlen, soweit sie gereizt wird[1].“ Damit ist aber der Sehakt nicht abgeschlossen, sondern das Abbild des durch das Licht veränderten Sehinstrumentes wird dem Sinneszentrum übermittelt. Dies geschieht durch Vermittelung der Sehnerven, die deshalb gekreuzt sind, damit nicht eine Verletzung des einen oder des ihn aufnehmenden Hirnteiles beide Augen des Sehstoffes beraube. Ob nun der Nerv ein Abbild des Gegenstandes in das Gehirn leitet oder ob geistige Stoffe hineintreten oder ob nach Art einer Wellenbewegung der Reiz in das Gehirn übergeleitet wird, wagt Kepler nicht zu entscheiden. Die Kreuzung der Sehnerven ist aber nicht die Ursache dafür, daß die in beiden Augen hervorgerufenen Eindrücke doch nur ein Bild sehen lassen, vielmehr tritt das dann ein, wenn beide Netzhäute in gleicher Weise gereizt werden. Doch läßt die Zweiheit der Augen auf die Entfernung eines von beiden angeblickten Gegenstandes schließen. Ja, da das eine Auge von beiden Augen diese Art zu messen lerne, so kann auch bei geringen Entfernungen die Breite der Pupille an Stelle des Abstandes der Augen treten, womit sich allerdings die Kepler wohlbekannte Tatsache nicht gut in Übereinstimmung bringen läßt, daß sich die Pupille in sehr hellem Lichte verkleinert. Die Fähigkeit des Auges, nahe und ferne Gegenstände deutlich sehen zu können, fordert die Annäherung des Augenhintergrundes an das „Kristallene“ und wird durch eine Änderung in der Form des Auges bewirkt, die von der kugelförmigen zur linsen-

---

[1]) Keplers Dioptrik. Ostwalds Klassiker Nr. 144, S. 28.

ähnlichen Gestalt übergehen kann, was durch die gleichsam als „besonderer Muskel" wirkenden Ziliarfortsätze geschieht. Bei nicht richtiger Akkomodation treten Zerstreuungskreise auf. Die Richtigkeit der Keplerschen Anschauung wies dann später Scheiner durch seinen nach ihm genannten Versuch nach, bei dem ein Gegenstand durch einen Schirm mit zwei nahe nebeneinander befindliche Löcher betrachtet wird[1]). Den Grund der Kurzsichtigkeit sieht er darin, daß sich die die Bilder entwerfenden Strahlen hinter der Netzhaut schneiden. Auch die Anwendung der bikonvexen Linse als Lupe berührt er. Den Grund für die Erscheinung, daß wir den Mond verschieden groß sehen, findet er freilich in der Verschiedenheit des Gesichtswinkels, unter dem er uns erscheint.

Kepler wendet sich nun zur Betrachtung der Wirkung zweier vor einander gestellter Sammellinsen und zeigt, daß ein Auge, welches durch sie einen Gegenstand betrachtet, diesen vergrößert sieht, „weil das Bild des Gegenstandes," sagt er[2]), „durch die eine Linse umgekehrt wurde, die nähere Linse aber nicht das von neuem umkehrt, was sie von der entfernteren empfängt, sondern so, wie sie es empfängt, dem Auge übermittelt aus dem, was hinter ihr liegt (sie empfängt aber ein Bild, welches umgekehrt ist in Ansehung des Gegenstandes), so übermittelt sie auch dieses umgekehrte Bild dem Auge umgekehrt hinsichtlich des Gegenstandes. Und weil das umgekehrte Bild selbst in der Nähe des Schnittpunktes größer erscheint als der Gegenstand selbst, wenn es weiter ab, gleichgroß, und noch weiter ab kleiner, so wird unser so umgekehrtes Bild, nachdem es durch die nähere Linse vergrößert ist, in den beiden ersten Fällen unter allen Umständen größer ausfallen als der Gegenstand, im letzten Falle aber entweder größer, gleich oder kleiner, je nachdem das Verhältnis der Linsen unter sich ist, welches im Belieben des Verfertigers liegt: in jedem Falle aber größer als das Bild, welches die dem Auge nächststehende Linse von der entfernteren erhalten hatte." Diese Worte enthalten die Erfindung desjenigen Fernrohrs, welches der Wissenschaft ungleich größere Dienste geleistet hat als das Galileische und welches den Namen des Keplerischen oder astronomischen führt. Aber Kepler blieb dabei nicht stehen. Er zeigte, daß man durch Hinzufügen einer dritten Linse das Bild auch zu einem auf-

---

[1]) Scheiner, Oculus sive fundamentum opticum. Oenoponti 1619. S. 37 ff. — [2]) A. a. O., S. 49.

rechten machen kann, und so verdanken wir ihm auch die Erfindung des unter dem Namen des terrestrischen bekannten Instrumentes. Dann aber wendet er sich zur Betrachtung der Zerstreuungslinsen und deren Kombination mit Sammellinsen und erklärte nicht nur die Wirkungsweise des Galileischen Fernrohres, sondern es gelang ihm auch durch Verdoppelung der Konkavlinsen zwei kürzere Rohre zusammenzustellen, von denen das eine freilich verkleinerte, das andere aber ebenfalls vergrößerte Bilder liefert. Kepler selbst hat sich keine seiner Konstruktionen hergestellt oder herstellen lassen, wohl aber tat dies Scheiner, der sich Fernrohre mit zwei und mit drei Konvexlinsen bauen ließ, auch damit beobachtet hat.

So erhebt sich auch in seinen optischen Arbeiten Kepler weit über seine Zeitgenossen, ja noch über eine Reihe von Epigonen in der Geschichte der Physik, die die Ideen ihrer Zeit noch nicht überwinden konnten. Und auch das stellt seine Forschungen neben die Galileis, daß sie durch Experiment und Beobachtung gesichert nie auf Abwege kamen, sondern in allen ihren Teilen stets den Keim der Weiterbildung in sich trugen.

f) Die weitere Ausbildung der Dynamik und die Erforschung des Gewichtes der Luft. Torricelli und Mersenne.

Diese gegen die früher geübte so ganz andere Methode der Forschung trug bald die schönsten Früchte, zunächst im unmittelbaren Anschluß an Galileis Arbeiten durch Torricelli. Evangelista Torricelli war 1608 nach einigen in Faenza in Toskana, nach anderen, denen sich Poggendorff[1]) anschließt, in Piancaldoldi in der Romagna Fiorentina geboren, und war in Rom, wohin er sich im Alter von 20 Jahren begab, Castellis Schüler geworden, der ihn Galilei empfahl, als dieser blind, wie er war, einer sachverständigen Hilfe zur Abfassung der letzten Tage der Discorsi bedurfte. 1641 kam der junge Gelehrte, der durch eine Abhandlung über die Bewegung[2]), in der des blinden Meisters Lehren selbständig weitergeführt waren, sich als dazu befähigt erwiesen hatte, nach Arcetri und half bei der Abfassung des fünften Tages. Nach Galileis nur zu

---

[1]) Poggendorff, Biographisch-literarisches Handwörterbuch. Leipzig 1863, Bd. II, Spalte 1119.

[2]) Torricelli, Trattato del Moto dei gravi, welche Schrift vor 1641 veröffentlicht wurde.

bald erfolgtem Tode machte ihn der Großherzog von Toskana zu dessen Nachfolger. Doch sollte er diese Stellung nicht lange bekleiden, denn bereits 1647 machte ein allzufrüher Tod einem Leben ein Ende, das so reiche Früchte es gezeitigt hat, zu größeren Hoffnungen berechtigte.

Es waren zunächst Galileis Arbeiten auf mechanischem Gebiet, an welche Torricelli anknüpfte. Schon in seiner Erstlingsschrift über die Bewegung stellte er den Satz auf, daß sich zwei miteinander verbundene Körper im Gleichgewicht befinden, wenn eine Lagenveränderung ihrerseits ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt weder hebt noch senkt. Über diesen Satz hatten sich Meinungsverschiedenheiten zwischen Beaugrand und Fermat auf der einen Seite, Etienne Pascal, Roberval und Descartes auf der anderen Seite gebildet, von der Castelli Kenntnis hatte. Torricellis Fassung ist wohl infolge dieser Kenntnis eine durchaus richtige[1]). Seine wichtigsten mechanischen Arbeiten betrafen die Bewegungserscheinungen flüssiger Körper, sie bilden den Inhalt des zweiten Abschnittes seines 1644 in Florenz erschienenen Hauptwerkes, der Opera geometrica, welcher den Titel trägt: De motu gravium naturaliter descendentium, über die Bewegung der schweren in natürlicher Weise herabsinkenden Körper. Er zeigt, daß die Bahn eines seitlich aus einem Gefäße austretenden Strahles die Form einer Parabel hat, deren Parameter seinen größten Wert erreicht, wenn sich die den Strahl entlassende Öffnung in der Mitte der Höhe befindet, während Öffnungen in gleicher Entfernung über oder unter dieser Mitte Flüssigkeitsstrahlen von kleinerer, aber gleicher Bogenweite geben. Die aus gleich großen Öffnungen in gleichen Zeiten ausfließenden Wassermengen verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus ihren Abständen von der Oberfläche, ebenso verhalten sich demnach die Zeiten, in welchen Gefäße von gleicher Weite und Öffnung entleert werden, und so lehrte er auch den Zusammenhang zwischen Öffnung und Zeit der Entleerung des Gefäßes kennen. In dem folgenden: »De motu projectorum« (über die Wurfbewegung) überschriebenen Abschnitt leitet er, von Galileis Arbeiten ausgehend, die Wurfbewegung ab; indem er aber im Gegensatz zu diesem das Beharrungsvermögen der Körper als etwas Selbstverständliches voraussetzt, trägt er den Beweis für die Parabelform der Wurflinie in der

---

[1]) Duhem, Sur l'histoire du principe employé en Statique par Torricelli. Comptes rendus 1906, Bd. 143, S. 812.

nämlichen Weise vor, wie dies auch jetzt noch üblich ist. Bestätigte er so die von Galilei aufgestellten Sätze, so fügte er den neuen hinzu, daß die einhüllende Kurve aller parabolischen Wurfbahnen von Körpern, welche mit gleicher Geschwindigkeit und Elevationen von 0 bis 90° geworfen werden, wiederum eine Parabel ist. Eine dritte Schrift Torricellis, die den Titel trägt: »Lezioni Accademiche« und die von der Accademia della Crusia, deren Mitglied er war, herausgegeben worden ist, enthält philosophische und mathematische Arbeiten und ist deshalb zu erwähnen, weil ihr Verfasser die in ihr vorgetragene Methode der Tangentenbestimmung einer Kurve gegen die Angriffe de Robervals verteidigen mußte, welche Angriffe aber, wie Cantor[1]) nachgewiesen hat, völlig ungerechtfertigte waren.

Auch auf optischem Gebiet wurde Torricelli Galileis Nachfolger. Dieser hatte seinerzeit eine Reihe von Fernrohren hergestellt, die namentlich in die Hände fürstlicher Besteller kamen. Doch suchte er mit Hilfe theoretischer Untersuchungen die Fernrohre zu verbessern, indem er die zweckmäßigste Gestalt der Gläser zu bestimmen suchte. Ein von ihm verfertigtes Fernrohr rühmt Carlo Dati, der Freund Torricellis (1619 bis 1679) in Briefen, die er an Heincius 1660 schrieb, um im Auftrage des Prinzen Leopold von Toskana um Auskunft zu bitten, ob das von Huygens verfertigte Fernrohr die in Florenz befindlichen Fernrohre, darunter das von Torricelli verfertigte, an Güte wesentlich überträfe[2]); im Jahre 1661 aber teilt Thévenot Huygens mit, daß Torricelli die Linsen dazu in Venedig habe herstellen lassen[3]). Dabei ließ er sie nicht auf Metallformen ausarbeiten, sondern befestigte sie mit einer Kältemischung auf Schiefer, um ihrer Gestaltänderung durch Erwärmung vorzubeugen[4]). Huygens glaubte freilich nicht, daß es die genügende Länge gehabt haben könne. „Denn wie wäre es möglich," schreibt er am 20. April 1668 an seinen Bruder Konstantin, „daß Torricelli, wenn er so vortreffliche Fernrohre hatte, nicht

---

[1]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik, 2. Aufl., 2. Bd. Leipzig 1900, S. 876 ff.

[2]) Huygens, Oeuvres complètes. T. III. La Haye 1890, S. 42 u. 83.

[3]) Ebenda T. III, S. 347.

[4]) Biedermann, Bericht über die Ausstellung wissenschaftlicher Apparate usw. London 1877, S. 417.

die Gestalt des Saturn und seinen Satelliten entdeckt hätte[1])." Das Fernrohr ist übrigens in Florenz noch vorhanden. Es ist ein astronomisches mit einem plankonvexen Okular[2]). Auch mit der Herstellung von Mikroskopen hat sich Torricelli befaßt; von ihm rührt die Anwendung eines kugelförmigen Glaströpfchens, wie man es leicht mit der Lampe erhalten kann, her, das zwar eine starke Vergrößerung aufweist, aber auch ein in den peripherischen Teilen in hohem Grade verzerrtes Bild liefert.

Wo aber, wird man fragen, bleibt die Erfindung, die Torricellis Namen vor andern berühmt gemacht hat, wo bleibt die Erfindung des Barometers? Hinsichtlich ihrer muß man Poggendorff[3]) beistimmen, wenn er Torricellis Arbeiten über die Wurfbewegung viel höher einschätzt als jene Erfindung, und so wiederholt sich hier der in der Geschichte der Physik öfters zu bemerkende Vorgang, daß der größere Ruhm eines Forschers sich an Leistungen von geringerem Werte anknüpft. Damit soll nun freilich nicht gesagt sein, daß der Ersatz des Abscheus der Luft vor und des Widerstandes der Körper gegen den leeren Raum durch die Lehre vom Luftdruck nicht von der größten Bedeutung gewesen wäre, aber wie Baliani nur Galileis Gedankengang bis zu seinen letzten Folgerungen durchzuführen hatte, um den Begriff des Beharrungsvermögens zu erhalten, so bedurfte es nur des Weiterführens seiner Ideen über die Wirkung der Luft, um zu der Lehre vom Luftdruck zu gelangen. Sie setzte freilich die Kenntnis vom Gewicht der Luft voraus, welches Aristoteles als ein Zehntel von dem des Wassers vermutet, Galilei zu ein Vierhundertstel davon durch Versuche bestimmt hatte. Diesen Tatbestand entsprechend hat Torricelli seine Entdeckung nicht einer besonderen Druckschrift anvertraut, sondern sie in einem Briefe an den späteren Kardinal Michel Angelo Ricci in Rom (1619 bis 1692) dargelegt[4]).

---

[1]) Huygens, Oeuvres complètes. T. VI. La Haye 1895, S. 209. »Car comment seroit il possible que Torricelli ayant de si excellents telescopes n'auroit pas decouvert les figures de Saturne et son Satellite?«

[2]) Catalogue of the Loan Collection of scientific apparatus at the South Kensington Museum. London 1876, S. 902. Biedermann, Bericht a. a. O., S. 417.

[3]) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 323.

[4]) Der Brief ist 1663 von Carlo Dati unter dem Pseudonym Timauro Antiote in Druck gegeben. Er bildet einen Teil der Nr. 7 der von Hellmann herausgegebenen Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erd-

Daraus erhellt, daß er die Schwierigkeit, den auf einen leeren Raum ausgeübten Druck aus ihm innewohnenden Kräften zu erklären, vollständiger als Galilei überwand, der ihren Sitz in die abschließenden Wände gelegt hatte, indem er zeigte, daß dieser Druck nur ein von außen wirkender sein könne[1]). Er bildet dann zwei seiner Röhren ab, die er mit A und B bezeichnet und von denen die eine die gewohnte Form der Barometer aufweist, die andere in ihrem oberen Ende zu einer Kugel aufgeblasen ist, die er C nennt. Zwei solcher von ihm herrührender Apparate sind noch in Florenz[2]) vorhanden. Am 11. Juni 1644 schreibt er an Ricci[3]): „Wir haben viele Gefäße von Glas gemacht, wie die beistehend gezeichneten A und B und mit zwei Braccien[4]) langem Hals; diese wurden mit Quecksilber gefüllt und ihre Mündung mit dem Finger geschlossen und als sie in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß C umgewendet worden waren, sah man, daß sie sich entleerten, daß aber in dem sich entleerenden Gefäß nichts an die Stelle trat, vielmehr blieb das Rohr immer bis zur Höhe einer Braccie und 1 q und 1 Zoll angefüllt." Torricelli redet hier in der Mehrzahl, denn die erste Torricellische Röhre, wie der Apparat zunächst genannt wurde, hat nicht er hergestellt, sondern sein Freund Viviani, dem er seinen Plan zur Prüfung der Annahme des Luftdruckes mitgeteilt hatte. Die angegebene Bezeichnung des neuen Apparates beweist, daß man trotzdem ihn Torricelli zuschrieb. In der Tat haben weder Viviani noch Pascal, von dessen einschlägigen Arbeiten

magnetismus, Berlin 1893. Hellmann gibt nach Govi an, Galilei habe das Wasser 460 mal schwerer als die Luft gefunden und vermutet (S. 15) bei Dati einen Druckfehler. Der bestimmten Angabe Galileis im 1. Tage der Discorsi (Ostwalds Klassiker Nr. 11, S. 72) gegenüber ist der Druckfehler eher bei Govi anzunehmen.

[1]) Ma io pretendo, che la sia esterna, e che la forza venga di fuori. Neudrucke Nr. 7, S. (2).

[2]) Catalogue of the Special Loan Collection of scientific Apparatus at the South Kensington Museum. 2. Ed. London 1876, S. 902. Biedermann, Bericht über die Ausstellung wissenschaftlicher Apparate im South Kensington Museum zu London 1876. London 1877, S. 416.

[3]) Noi abbiamo fatti molti vasi di vetro come i seguenti segnati A, e B grossi, e di collo lungo die braccia; questi pieni d'argento viuo, poi serrata loco con vn dito la bocca, e riuoltatasi in vn vaso doue era l'argento vivo C, si vedeuano votarsi, e non succedere niente nel vaso che si votaua, il collo però restaua sempre pieno all' altezza d'vn braccio e 1 q. e vn di todi più.

[4]) Etwa 0,6 m.

sogleich die Rede sein soll, ihn für sich in Anspruch genommen, wohl aber tat dies der Kapuziner Valerio Magni (Valerianus Magnus), der in seiner kleinen Schrift über den leeren Raum angibt, er habe ihn schon am 12. Juli 1647 dem Könige von Polen vorgeführt, auch sich 1654 Otto von Guericke gegenüber als Erfinder des Apparates ausgab[1]). Daran glaubten aber weder de Roberval, der in einem Schreiben an Des Noyers sich im Oktober 1647 darauf berief, daß Valerio in der Zeit um 1643 Italien und Frankreich bereist habe, wo überall von dem neuen Experiment die Rede gewesen sei[2]), noch Pascal, der 1651 an den Jesuitenpater Ribeyra schrieb, daß er seine 1647 gedruckte Schrift über Torricellis Versuch in dem nämlichen Jahre nach Polen gesandt habe[3]) und auch Guericke und Schott[4]) glaubten nicht an eine selbständige Erfindung des Paters. Dieser aber hielt seine Behauptung den Einwänden de Robervals gegenüber aufrecht und nahm für sich in Anspruch, sie zuerst durch den Druck in dem größeren und besseren Teil von Europa bekannt gemacht zu haben. Da er auf seine Entdeckung durch das Studium der Werke Galileis und Archimedes gekommen sein will, so ist es wohl möglich, daß er sie selbständig machte, wie auch andere ihr lange vor Torricelli nahegekommen waren. So äußerte sich bereits 1629 der oben erwähnte Beeckmann in Dordtrecht Gassendi gegenüber, „daß die Dinge[5]) mit großer Heftigkeit in einen leeren Raum stürzen, infolge der großen Höhe der Luft, die auf ihnen lastet und des Gewichtes, welches sich daraus ergibt". Und 1630 schrieb Baliani an Galilei: „Es ist nicht wahr[6]), daß der leere Raum der Natur der Dinge widerstrebt, es ist nur wahr, daß er nicht entstehen kann ohne Anwendung großer Gewalt, und man kann die Größe dieser Gewalt berechnen, welche zur Herstellung des leeren Raumes nötig ist. Andererseits, wenn die Luft schwer ist, so besteht

---

[1]) Guericke, Experimenta nova. Amstelodami 1672, S. 117.

[2]) Abgedruckt in Schott, Technica curiosa. Norimbergae 1664, S. 194.

[3]) Oeuvres de Blaise Pascal, T. IV. A la Haye 1779, S. 209.

[4]) Schott, Technica curiosa, S. 185.

[5]) Js. Beeckmann, Mathematico-physicarum meditationum, quaestionum ac solutionum centuria 1644, S. 45. Nach der Übersetzung von Duhem in P. L. Marin Mersenne et la Pesanteur de l'air. Revue générale des Sciences 1906. 17. Jahrg., S. 773.

[6]) Albèri, Le Opere di Galileo Galilei. T. IX. Firenze 1852, S. 210. — Vgl. Duhem a. a. O., S. 771.

zwischen dem Wasser und der Luft nur ein gradueller Unterschied; es ist deshalb zweckmäßiger, daß ich, um meine Gedanken klar zu legen, vom Wasser rede, dessen Gewicht merklicher ist, denn was am Wasser zu beobachten ist, wird ebenso an der Luft zu beobachten sein." In ähnlicher Weise sucht Rey die Behauptung Mersennes zu widerlegen, welcher behauptet hatte, daß die Luft in Höhlen und Spalten nicht infolge ihrer Schwere eindringt, sondern umgekehrt wegen ihrer Leichtigkeit, da diese die Ursache davon ist, daß aus der großen Zahl kleinster Öffnungen in der Erde und im Wasser die Luft fortwährend aufsteigt und so die Entstehung eines leeren Raumes verhindert.

Marin Mersenne war 1588 in Soultière im Departement Maine et Loire geboren, war in den Orden der Minoriten getreten und lebte mit Unterbrechung durch einen längeren Aufenthalt in Nevers und durch Reisen nach Holland und Italien in Paris, wo er 1648 starb. Er war ein fleißiger Schriftsteller und unterhielt einen eifrigen Briefverkehr mit einer großen Anzahl seiner Zeitgenossen, die auf physikalischem Gebiete tätig waren. „In einem barbarischen Latein, in einem erbärmlichen Französisch", so charakterisiert Duhem[1]) seine Schriften, „legte er seine Gedanken in einem übereilten Buche voll fehlerhafter Ausdrücke nieder, in denen die widersprechendsten Ansichten in bunter Mischung durcheinander poltern, ein wahrer Wirrwarr von Wahrheit und Irrtum, ein eindringliches Bild der Unordnung, in dem sich die sonderbare Erkenntnis des Minoriten bewegt." Zu Mersennes Korrespondenten gehörte der gegen Ende des 16. Jahrhunderts zu Bugues im Departement Dordogne geborene spätere dortige Arzt Jean Rey, der 1645 starb. Angeregt durch eine Anfrage des Apothekers Brun in Bergerac hatte er in einer 1630 erschienenen Schrift[2]) die Gewichtszunahme von Zinn beim Verkalken erklärt durch die Annahme, daß die Luft schwer sei und zu dem Kalke hinzutretend an dessen Teilen wie Wasser an Sandkörnchen anhafte. Dies war ein Zeichen einer großen Freiheit von Vorurteilen, da seit Platon die entgegengesetzte Ansicht die allgemein angenommene war und nur eine vereinzelte Bemerkung von Cardano[3]) dagegen vorlag, der als Versuchsergebnis hinstellt, daß Blei beim Brennen um $^1/_{13}$ seines Gewichtes

[1]) Duhem a. a. O., S. 771.

[2]) Rey, Essays sur la Recherche de la cause, pour laquelle l'Estain et le Plomb augmentent de poids, quand on les calcine. Bazas 1630. Essay XVI.

[3]) Cardanus, De Subtilitate. Lyon 1554, S. 212.

zunimmt[1]). Rey war also weit entfernt, sich Mersennes Ansichten anzuschließen, glaubte vielmehr, daß das Gewicht der höheren Teile der Luft, welche auf die tiefer liegenden wirken, die Ursache von deren Bestreben, alle Spalten und Höhlungen auszufüllen sei, und daß das Gleichgewicht, welches die Natur erstrebt, in der Tat nichts anderes ist, als eine Gleichheit der Gewichte. Denn da das Wasser sich ebenso wie die Luft verhält, so müßte man ja, wenn man Mersenne recht geben wollte, auch das Wasser für einen nicht schweren Körper halten. Daß Rey dann freilich den leeren Raum und damit seine Kraft, die Luft zu sich herabzuziehen, für unmöglich hält, weil, wenn er an einer Stelle sein könnte, er auch an einer anderen und warum dann nicht überall aufzutreten imstande sei. Das aber gehe nicht an, weil sich dann das Weltall durch seine eigene Kraft vernichten könne, was doch allein seinem Schöpfer vorbehalten sein könnte. Diese noch recht scholastisch anmutende Anschauung wird man dem französischen Arzte um so weniger hoch anrechnen dürfen, als sein Zeitgenosse Des Cartes in seinem um dieselbe Zeit geschriebenen, aber erst nach seinem Tode veröffentlichtem Werke[2]) »Le Monde«, auf das noch zurückzukommen sein wird, die nämliche Ansicht von der Unmöglichkeit der Bildung eines leeren Raumes vertritt, sie aber nur dadurch zu erklären weiß, daß alle Bewegungen der Welt im Kreise verlaufen, so daß, wenn ein Körper seinen Platz verläßt, immer ein anderer an seine Stelle tritt.

Wenn man nun auch seit den Zeiten des Aristoteles die Ansicht hegte, daß die Luft Gewicht habe, wie denn auch Mersenne am 1. April 1632 an Rey schrieb: „Ich denke [3]) ein Mittel gefunden zu haben, um die Luft zu wiegen und zu erfahren, wievielmal sie leichter als Silber und die andern festen und flüssigen Körper ist", so beweist das Vorgeführte, wie unklar man noch darüber war, ehe die Torricellische Röhre das erwünschte Licht brachte. Was des Minoriten Bestrebungen, die Luft zu wiegen, betrifft, so hat er dafür nicht weniger als vier Me-

---

[1]) Vgl. E. O. v. Lippmann, Chemisches und Physikalisches aus Platon. Journal für praktische Chemie, Neue Folge, Bd. 76, 1907, S. 539.

[2]) Le Monde de M. Descartes ou le Traité de la Lumière et des autres principaux objets des sons. Paris 1664. Cap. IV.

[3]) Rey, Essays. 2. Ed. Paris 1777, S. 149. Vgl. Duhem a. a. O., S. 774: Je pense avoir trouvé le moyen de peser l'air et de sçavoir combien est plus leger que l'argent et les autres corps tant solides que liquides.

thoden angegeben[1]). Eine davon ist keine andere, wie die bereits von Cardano versuchte, die Fallhöhen des nämlichen Körpers in verschiedenen Stoffen für gleiche Fallzeiten zu bestimmen. Bei seiner Ausführung fand er die Luft 1870 mal leichter als Wasser, eine Zahl, die dem jetzt angenommenen Werte freilich viel weniger nahekommt als die von Galilei gefundene. Die drei anderen Methoden verfolgen namentlich den Zweck, das verschiedene Gewicht gleicher Volumina warmer und kalter Luft zu bestimmen. Die erstere ist keine andere, wie die von Galilei bereits angewendete, allerdings mit soviel abweichenden Vorschriften im einzelnen, daß Duhems Angabe[2]), Mersenne habe die betreffende Arbeit Galileis nicht gekannt, wohl zutreffen wird. Der Minorit will zwei Büchsen sehr leichten Holzes von gleichem Gewicht herstellen, die eine mit Luft von der niedrigen Temperatur des Winters füllen und dann luftdicht schließen, sie mit der anderen offen gebliebenen in die warme Luft eines Zimmers bringen und nun beide wiegen, wobei er mit Recht erwartet, daß das größere Gewicht der mit der kalten Luft gefüllten zukommen wird. Interessanter ist die zweite Methode, die freilich von Rey angegeben ist, deshalb, weil sie zuerst für genaue Gewichtsbestimmungen die Notwendigkeit der Reduktion auf den leeren Raum fordert. Die im XV. Essay enthaltene merkwürdige Stelle lautet: „Die Wage ist so trügerisch, da sie uns niemals das wahre Gewicht der Dinge gibt, außer wenn zwei Gewichte von dem nämlichen Stoff und der nämlichen Form einander gegenübergestellt sind, wie zwei Bleikugeln. Aber zwei Barren, der eine aus Gold, der andere aus Eisen, die die Wage uns als gleich schwer anzeigt, sind dies keineswegs, denn das Eisen wiegt mehr im Verhältnis des Gewichtes der Luft, welche in dem Raum, den das Eisen einnimmt, mehr enthalten ist, als in dem vom Gold eingenommenen[3])." Indem er diesen Gedankengang verfolgt, schlägt Mersenne vor, ein großes Stück Holz durch ein Stück Blei zu äquilibrieren und erwartet mit Recht, daß dieses Gleichgewicht durch eine Tem-

[1]) Mersenne, Harmonie universelle. Paris 1636.

[2]) Duhem a. a. O., S. 775.

[3]) La balance est si fallacieuse qu'elle ne nous indique jamais le juste poids des choses, fors que quand en icelle sont confrontées deux pesanteurs de même matière et figure, comme deux boulets de plomb. Mais deux lingots, par exemple, l'un d'or et l'autre de fer, que la balance nous montre esgaux, ne le sont pas pourtant: Car le fer pèse plus, de ce que pèse, selon la raison, l'air qui serait contenu en la place que le fer occupe plus que l'or.

peraturänderung gestört werden würde, er gibt damit einen Apparat an, den Otto v. Guericke später in vollkommenerer Weise ausführte.

Die vierte Methode verdankte Mersenne wiederum Rey. Sie wollte eine Äolipile benutzen, welche nach des ersteren Ansicht geeignet sein sollte, Wasser in Luft zu verwandeln. Dem widerspricht freilich der Minorit und hält entgegen, daß Wasser, auch wenn es luftartig geworden sei, doch stets Wasser bleibe. Dagegen sei ein gläsernes, nach Art der Äolipile geformtes Gefäß wohl geeignet, um die Dichtigkeit der Luft zu bestimmen. Man habe es zu dem Ende im kalten Zustande zu wägen, es zu erhitzen und wieder zu wägen, endlich das Rohr des erhitzten Gefäßes in Wasser zu tauchen und aus der Menge des beim Erkalten eingedrungenen Wassers das Volumen der ausgetriebenen Luft zu bestimmen. So benutzte Mersenne bereits ein Verfahren, das in neuerer Zeit mit geringer, aber wichtiger Abänderung Dumas zur Bestimmung von Dampfdichten in Anwendung brachte. Da aber zu Mersennes Zeiten Glasgefäße in solcher Größe, wie sie für die Ausführung seiner Versuche wünschenswert war, noch nicht hergestellt wurden, so nahm er metallene, nachdem er auf den Rat von Des Cartes sich davon überzeugt hatte, daß eine Kupferplatte im erhitzten Zustande das nämliche Gewicht wie im kalten habe. Genaue Ergebnisse konnten freilich auch diese Versuche nicht geben, und so fand Mersenne, als er sie 1643 in der geschilderten Weise ausführte, daß das Wasser 225 mal schwerer als die Luft sei. Später muß er allerdings andere Ergebnisse erhalten haben, denn in seinen 1644 in Paris herausgegebenen „Physikalisch-mathematischen Gedanken[1]" gibt er den nämlichen Wert zu 1356 an, der mit dem früher von ihm erhaltenen besser übereinstimmte.

g) Prüfung der Lehre vom Luftdruck und die Hydrostatik. Pascal.

Den Inhalt des Briefes, in dem Torricelli über die Entdeckung des Luftdruckes berichtet hatte, teilte Ricci sogleich Mersenne mit und dieser hatte nichts Eiligeres zu tun, als zu versuchen, das Experiment nachzumachen, und da ihm das nicht gelang[2]), nach Florenz

[1]) Der ausführliche Titel lautet: P. Marini Mersenni Minimi Cogitata physicomathematica, in quibus tam naturae, quam artis effectuì admirandi certissimis demonstrationibus explicantur. Parisiis 1644.

[2]) Pascal, Oeuvres complètes. Ed. Hachette. Paris 1880. Tome 3. S. 74.

zu reisen und sich von Torricelli den neuen Versuch zeigen zu lassen[1]). Nach seiner Rückkehr nach Paris zögerte er nicht, ihn seinen zahlreichen Korrespondenten zu schildern und hatte die Genugtuung, überall damit das größte Aufsehen zu erregen. So lernte er Pascal kennen. Blaise Pascal war der einzige Sohn jenes Etienne Pascal, den wir bereits gelegentlich der Erstlingsschrift Torricellis zu erwähnen Gelegenheit hatten. Etienne war Präsident der Steuerkammer zu Clermont; dort wurde 1623 Blaise geboren. Er blieb daselbst bis zu seinem achten Jahre, in welchem sein Vater, um sich ganz der Erziehung des Sohnes zu widmen, nach Paris übersiedelte. Diese zielte hauptsächlich auf Ausbildung in den alten Sprachen hin, konnte aber nicht verhindern, daß sich der lebhafte Geist des Knaben auch der Beschäftigung mit Mathematik und Philosophie zuwandte. Mit 19 Jahren erfand er eine Rechenmaschine, die aber nur für Addition und Subtraktion brauchbar war. Ein Exemplar derselben ist als »Pascaline« noch im Museum von Clermont Ferrand vorhanden[2]). Seine zarte Gesundheit wurde indessen Ursache, daß er sich von seinem 24. Jahre an fast nur noch mit theologischen Studien beschäftigte, deren Frucht unter anderm die unter dem Pseudonym Louis de Montalte veröffentlichten berühmten Briefe gegen die Jesuiten waren. Er starb 1662 in Paris.

Seine für uns in Betracht kommenden Arbeiten gehören also sämtlich jener jugendlichen Periode an. Um sich von der größeren Berechtigung der Lehre vom Luftdruck im Vergleich mit der vom Widerstand der Körper gegen den leeren Raum zu überzeugen, stellte er zunächst eine Reihe von Experimenten an, die er in der 1647 in Paris gedruckten Schrift »Nouvelles experiences touchant le Vuide etc. réduit en abrégé et donné paravance d'un plus grand Traité sur le même sujet« (welches freilich nie erschienen ist), und in der im folgenden Jahr erschienenen Flugschrift »Recit de la Grand Expérience de l'Equilibre des Liqueurs« beschrieb. Die letzte Schrift ist 1893 von Hellmann im Faksimiledruck von neuem herausgegeben[3]). Sie enthält

[1]) Mersenne, Novarum Observationum physico-mathematicarum. T. III. Paris 1647.

[2]) Huygens, Oeuvres complètes, T. II, La Haye 1889, S. 427 Note, wo auch eine ausführliche Figur und Beschreibung von Bellair sich findet.

[3]) Hellmann, Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus. Berlin 1893, Nr. 2.

Pascals Brief an seinen Schwager Périer und dessen Antwort, und hat in wenig veränderter Form in der nach Pascals Tode 1663 ebenfalls in Paris gedruckten aber wohl bereits 1653 verfaßten[1]) Schrift »Traitez de l'Equilibre des liqueurs et de la Pesanteur de la Masse de l'air« neben anderen Ergebnissen der Arbeiten des zu früh verstorbenen Gelehrten Platz gefunden[2]).

Zunächst stellte er den Versuch an, dessen notwendiges Ergebnis Torricelli angegeben, den er aber nicht ausgeführt hatte, er stellte eine 46 Fuß lange, an einem Ende geschlossene Röhre her, die er mit Wasser oder Rotwein füllte und dann mit dem offenen Ende in Wasser brachte, also mit der leichteren Flüssigkeit genau ebenso verfuhr wie der Schüler Galileis es mit dem Quecksilber getan hatte. Der Erfolg war der erwartete; auch über dem Wasser oder dem Wein bildete sich das Vakuum. Daß freilich diese Bezeichnung ganz streng genommen werden dürfte, glaubte er nicht, da es ja das Licht hindurchließ. Er hielt deshalb dafür, daß es noch Äther enthalte. Wenn nun auch Torricelli und Baliani den Grund für die Erhebung des Quecksilbers im oben geschlossenen Rohre in dem Drucke der Luft gesehen hatten, so waren doch auch eine Reihe anderer Erklärungen der merkwürdigen Tatsache versucht. Die unbekehrten Anhänger der scholastischen Lehre hielten noch am Abscheu der Luft vor dem leeren Raum, eine Reihe der Schüler Galileis an dem Widerstande der Körper gegen ihn fest, de Roberval sah den Grund des hohen Standes der Flüssigkeiten in Kapillarerscheinungen und hielt dafür, daß das Quecksilber durch Anziehung der Röhrenwandungen festgehalten werde, während endlich der Jesuit Franciscus Linus (Francis Line 1595 bis 1675) bewogen durch den Zug, den der Finger empfand, durch den er das oben offen gelassene Rohr geschlossen und dann das andere ebenfalls offene Ende unter Quecksilber losgelassen hatte, die Ansicht vertrat, das Quecksilber werde mit unsichtbaren Fäden an dem Glase festgehalten. In einer Zeit, in der Kepler in ähnlicher Weise die Anziehung der Planeten durch die Sonne erklärt hatte, konnte eine solche Idee nicht für so abenteuerlich gehalten werden, als wir jetzt zu tun geneigt sind. Immerhin hielt es Pascal für notwendig, über die größere oder geringere Berechtigung dieser Anschauungen zu ent-

[1]) Oeuvres de Blaise Pascal. T. IV. A la Haye 1779, S. 222.

[2]) Ebenda S. 345.

scheiden, wenn er auch wie Duhem[1]) wohl mit Recht geneigt ist, anzunehmen, von vornherein den Luftdruck für die wahre Ursache halten mochte.

Es galt zunächst, zwischen dieser und der Galileischen Annahme und damit über den Abscheu der Luft vor dem leeren Raum zu entscheiden. An ihn glaubt er freilich von vornherein nicht: „Ich kann kaum glauben," sagt er[2]), „daß die Natur, die weder beseelt ist, noch Empfindung hat, für einen Abscheu empfänglich sein soll, weil die Leidenschaften eine sie zu fühlen fähige Seele voraussetzen." Um aber auch die Unmöglichkeit des Widerstandes gegen den leeren Raum nachzuweisen, nahm er eine mit völlig gut schließendem Kolben versehene Spritze und tauchte ihr unten offenes Ende in das Quecksilber, während die Spritze lotrecht aufgestellt war. Zog er nun den Kolben in die Höhe, so folgte das Quecksilber bis es eine Höhe von 2 Fuß 3 Zoll erreicht hatte, aber dann nicht weiter. Diese Spritze hing er nun an eine Wage und fand jedesmal dasselbe Gewicht, mochte der Kolben in der angegebenen Höhe sich gerade über dem Quecksilber befinden, so daß noch kein luftleerer Raum vorhanden war, oder mochte sich über ihm ein solcher irgendwelcher Größe gebildet haben. Auch diesen Versuch hatte Torricelli qualitativ angestellt, indem er gezeigt hatte, daß die Höhe der Quecksilbersäule unabhängig von der Größe des darüber befindlichen Raumes war, indem Pascal ihn quantitativ gestaltete, erhielt er eine Anordnung, die später als Wagebarometer von Bedeutung werden sollte. „Es hat also," schließt er daraus[3]), „der sichtbare leere Raum keinen Einfluß auf sein Gewicht, obwohl alle die ihn umgebenden Körper bestrebt sind, ihn auszufüllen, und, welcher Unterschied in der Größe zwischen diesen Räumen auch sein mag, er läßt keinen zwischen den Gewichten erkennen." Duhem[4]) weist darauf hin, daß

---

[1]) Duhem, Le P. Marin Mersenne et la pesanteur de l'air. Revue générale des Sciences 1906. 17. Jahrg., S. 841.

[2]) Hellmann, Neudrucke Nr. 2, S. 3: »J'ay peine à croire que la nature qui n'est point animée ny sensible soit susceptible d'horreur, puisque les passions presupposent vne ame capable de les ressentir.«

[3]) Pascal, Nouvelles Experiences touchant le vuide. Oeuvres de Blaise Pascal. T. IV. A la Haye 1779, S. 62. »De sorte que l'espace vuide, en apparence, quoique tous les corps qui l'environnent, tendent à le remplir, n'apporte aucun changement à son poids, et que quelque difference de grandeur qu'il y ait entre ces espaces, il n'y en a aucune entre les poids.«

[4]) Mersenne, Novarum observationum physico-mathematicorum. T. III. Praef. I. Vgl. Duhem a. a. O., S. 812.

Mersenne den nämlichen Gedanken bereits 1644 ausgesprochen habe, aber bei weitem nicht mit der sicheren Entschiedenheit, vielmehr nach Erklärungsgründen suchend, die beweisen, daß ihm der eigentliche Zweck dieses schönen Versuches völlig unklar war. Noch schlagender freilich erschien Pascal ein weiterer Versuch, den er anstellte, um zu zeigen, daß die Anschauungen seiner Vorgänger unmöglich zutreffend sein könnten, ein Versuch, der vor der Erfindung der Luftpumpe zeigte, daß das Quecksilber in der Torricellischen Röhre im luftleeren Raume herabfalle. In dem Briefe an Périer beschreibt er ihn mit folgenden Worten[1]: „Ich wüßte nicht besser Ihnen Zeugnis abzulegen über die Vorsicht, welche ich beobachtete, ehe ich mich von den alten Anschauungen entfernte, als indem ich Sie an den Versuch erinnere, welchen ich früher in Ihrer Gegenwart mit zwei Röhren, die eine in der anderen anstellte und welcher offenbar einen leeren Raum im leeren Raume zeigt. Sie sahen, daß das Quecksilber des inneren Rohres auf der Höhe stehen blieb, auf der es sich bei dem gewöhnlichen Versuche hält, wenn es im Gleichgewicht war und gehoben blieb durch das Gewicht der ganzen Luftmasse, und daß es im Gegenteil völlig herabfiel, ohne auf irgendeiner Höhe oder Erhebung zu bleiben, als es mittels des es umgebenden leeren Raumes in keiner Weise mehr gehoben oder im Gleichgewicht durch irgendwelche Luftmengen gehalten wurde, da es von allen Seiten abgeschlossen war. Sie sahen weiter, daß diese Höhe oder Erhebung des Quecksilbers sich vergrößerte oder verkleinerte in dem Maße, in welchem der Druck der Luft sich vergrößerte oder verkleinerte, und endlich, daß alle die verschiedenen Höhen oder Erhebungen des Quecksilbers sich immer als proportional dem Luftdruck erwiesen."

[1]) Hellmann, Neudrucke Nr. 2, S. 4. Oeuvres de Pascal. T. IV, S. 349. »Je ne sçaurois mieux vous temoigner la circonspection que i'apporte auant que de m'éloigner des anciennes maximes que de vous remettre dans la memoire l'experience, que ie fis ces iours passez en votre presence avec deux tuyaux, l'vn dans l'autre, qui monstre apparement le Vuide dans le Vuide. Vous vistes que le vif-argent du tuyau interieur demeura suspendu à la hauteur, où il se tient par l'experience ordinaire, quand il estoit contrebalancé et pressé par la pesanteur de la Masse entière de l'air, et qu'au contraire, il tomba entierement, sans qu'il luy restat aucune hauteur ny suspension, lorsque par le moyen du Vuide, dont il fust enuironné. Il ne fut plus du tout pressé ny contrebalancé d'aucun air, en ayant esté destitué de tous costez. Vous vistes en suitte que cette hauteur ou suspension du vif argent augmentoit ou diminuoit à mesure que la pression de l'air augmentoit ou diminuoit et qu'en fin toutes ces diverses hauteurs au suspensions du vif-argent se trouvoient toujours proportionnées à la pression de l'air«.

Den Versuch mit den zwei Röhren, auf den sich hier Pascal beruft, hat er in seinen »Nouvelles experiences« nicht beschrieben; was darunter zu verstehen ist, ergibt sich aber aus dem Traité von 1653. Er nahm[1]) ein U förmig gebogenes Rohr mit langem geschlossenen und kurzem offenen Schenkel und schmolz an den letzteren ein oben und unten offenes gerades Rohr an, so daß in dessen obersten Teil der untere des anderen mündete. Füllte er nun beide Rohre mit Quecksilber, indem er sie umkehrte, und das obere Ende des geraden Rohres mit dem Finger verschloß, und brachte das untere Ende in ein Gefäß mit Quecksilber, so fiel das in den Röhren enthaltene bis auf den im untersten Teil des U förmigen Rohres zurückbleibenden Rest herab, stieg aber bis zur Höhe von 26 oder 27 Zoll wieder empor, wenn man den Finger vom oberen Ende des geraden Rohres wegnahm. Den nämlichen Versuch haben später die Mitglieder der Accademia del Cimento mit geringer Abänderung wiederholt.

Hätten diese Versuche recht wohl hingereicht, um die Unhaltbarkeit der Aristotelischen und Galileischen Ansicht vom leeren Raum nachzuweisen, so glaubte Pascal noch ein übriges tun zu müssen und forderte seinen Schwager auf, »la grande Experience de l'Equilibre des Liqueurs«, das große Experiment über das Gleichgewicht der Flüssigkeiten, wie er es nennt, und das er als entscheidend ansieht, auszuführen. „Es besteht darin," schreibt er ihm[2]), „den gewöhnlichen Versuch über den luftleeren Raum, mehrere Male an demselben Tag, in der nämlichen Röhre, mit dem nämlichen Quecksilber, bald am Fuße und bald auf dem Gipfel eines Berges, welcher wenigstens fünf oder sechshundert Toisen hoch ist, anzustellen und zu untersuchen, ob die Höhe des im Rohre gehobenen Quecksilbers sich gleich oder verschieden in beiden Lagen verhält." Dazu sei sein Wohnort in Clermont am Fuße des hohen Berges Puy de Dôme ganz besonders geeignet. Périer ging auf den Wunsch des Schwagers ein und stellte den Versuch am 19. September 1648 an. Er benutzte dazu zwei Torricellische Röhren, von deren gleichem Gange er sich vorher überzeugt hatte. Begleitet

[1]) Oeuvres de Pascal, S. 299.

[2]) Ib. S. 5, Oeuvres de Pascal, S. 350: C'est de faire l'experience ordinaire du Vuide plusieurs fois en mesme iour, dans vn mesme tuyau, auec le mesme vif-argent, tantost au bas, et tantost au sommet d'vne montagne esleuée pour le moins de cinq ou six cens toises, pour esprouuer si la hauteur du vif-argêt suspendu dans le tuyau, se trouuera pareille ou differête dans ces deux scituations.

von einigen Minoriten stieg er auf den 500 Toisen hohen Gipfel und las dort den Stand des Quecksilbers im einen Apparat, ihn an fünf verschiedenen Punkten der Höhe beobachtend ab, während ein anderer Minorit, der Pater Chastin, die andere in Clermont zurückgelassene Röhre anhaltend beobachtete, um die Änderungen im Stande des Quecksilbers berücksichtigen zu können. Er fand einen Unterschied von 3 Zollen und anderthalb Linien und während des Aufstieges in verschiedenen Höhen entsprechend kleinere Differenzen. Dies Ergebnis teilte er am 22. September seinem in gespannter Erwartung ihm entgegensehenden Schwager mit, und dieser veröffentlichte beide Briefe mit einem kurzen Nachwort in einer Flugschrift, deren Herstellung noch von der Eile Zeugnis gibt, mit der dies geschah. Dieser Versuch, sagt er darin, beweise, daß die Natur weder einen Abscheu vor, noch einen Widerstand gegen den leeren Raum kennt. „Es ist nicht nur bei dieser Gelegenheit," fährt er fort[1]), „daß, wenn die Schwachheit der Menschen nicht die wahren Ursachen hat finden können, ihr Scharfsinn eingebildete an deren Stelle gesetzt hat, die durch besondere die Ohren, aber nicht den Geist füllende Namen ausgedrückt werden; es ist nichts anderes, wenn man sagt, daß die Sympathie und Antipathie der natürlichen Körper die wirksamen und allgemein gültigen Ursachen vieler Wirkungen seien; als wenn unbeseelte Körper der Sympathie und Antipathie fähig wären; es hat die nämliche Bewandtnis mit der Antiperistasis und mehreren anderen chimärischen Dingen, welche eine eitle Befriedigung der Begierde der Menschen bedeutet, die verborgenen Wahrheiten kennen zu lernen." Auf einem eingeklebten Blatte macht Pascal überdies noch auf die sich ergebenden Folgerungen aufmerksam, daß dieser Versuch entscheiden lasse, ob zwei Orte sich in der nämlichen Entfernung vom Mittelpunkt der Erde (centre de la terre) befinden, daß er aber auch die Unsicherheit der zu seiner Zeit allein gebräuchlichen Luftthermometer beweise. Auch weist er auf die schon von Torricelli be-

[1]) Ebenda S. 18, Oeuvres de Pascal, S. 362 »Ce n'est pas en cette seul rencontre, que quand la foiblesse des hommes n'a pû trouuer les veritables causes leur subtilité en a substitué d'imaginaires, qu'ils ont exprimées par des noms speciaux qui remplissent les oreilles & non pas l'esprit; c'est ainsi que l'on dit, que la sympatie & antipatie des corps naturels, sont les causes efficientes & vninoquées de plusieurs effects; comme si des corps inanimez estoient capables de sympatie & antipatie; Il en est de mesme de l'antiperistase, & de plusieurs autres causes chimeriques, qui n'apportent qu'vn vain soulagement à l'avidité qu'ont les hommes, de connoistre les veritez cachées«.

obachtete Veränderlichkeit des Standes des Quecksilbers in der Torricellischen Röhre an dem nämlichen Ort und, was besonders hervorzuheben ist, der nämlichen Temperatur hin.

Es erhebt sich nun aber die Frage, ob der Vorschlag zu dem beschriebenen entscheidenden Versuch zuerst von Pascal gemacht worden ist, oder ob er nur die Vorschläge anderer zur Ausführung brachte. Dies ist in der Tat behauptet worden, und zwar nennt man Des Cartes und Mersenne als diejenigen, von denen die von Pascal zur Ausführung gebrachte Idee ausgegangen sei. Der zugunsten des ersteren von Matthieu[1]) erhobene Anspruch, daß der Schöpfer der analytischen Geometrie bei den Versuchen, die Mersenne, eben aus Italien zurückgekehrt, im Laufe des Septembers 1647 vor einem Kreise sich dafür interessierender Gelehrten anstellte, zugegen war, würde ebenso für alle anderen, die diesen Versuchen beiwohnten, sprechen, darunter waren aber Vater und Sohn Pascal. Man sieht deshalb nicht ein, weshalb Pascal nicht selbständig auf den Gedanken gekommen sein soll. Wichtiger ist, daß Des Cartes in Briefen, die er am 11. Juni und 17. August 1649 an Carcavi schrieb, die Priorität für sich in Anspruch nimmt, und Laßwitz[2]) ist geneigt, ihm diese zuzugestehen, da er eine vollkommen klare Einsicht über die auf dem Dasein des Luftdruckes beruhenden Erscheinungen längst besessen habe. Die nämlichen Gründe aber würden für Mersenne sprechen, da er die Forderung, die Abhängigkeit des Barometerstandes mit der Höhe über dem Meere zu untersuchen, bereits vor dem 1. Oktober 1647 in der Vorrede zum dritten Bande seiner „Neuen physico-mathematischen Beobachtungen" hat drucken lassen[3]). Für ihn scheint Pascal selbst Zeugnis abzulegen, wenn er an Périer schreibt[4]): „Ich hoffe von Ihrer Güte, daß Sie mir die Freund-

[1]) Felix Mathieu, Pascal et l'experience du Puy de Dôme. La Revue de Paris 1906. 13. Jahrg.

[2]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Hamburg und Leipzig 1890, Bd. 2, S. 94.

[3]) Mersenne, Novarum observationum physico-mathematicarum. Tomus II, Pref. I.

[4]) Hellmann, Neudrucke usw., Nr. 2, S. 7: »J'espere de vostre bonté, que vous m'accorderez la grace d'y vouloir faire vous mesme cette experience, & sur cette asseurance, ie l'ay faite esperer à tous nos curieux de Paris & entr'autres au R. P. Mersenne, qui s'est desia engagé par lettres, qu'il en a escrites en Italie, en Pologne, en Suede, en Hollande, & c. d'en faire part aux amis qu'il s'y est acquis par son merite.

lichkeit erweisen, selbst diesen Versuch anstellen zu wollen, und im Vertrauen darauf habe ich auf diese Hoffnung alle unsere Pariser Wißbegierigen hingewiesen und unter andern den verehrungswürdigen Pater Mersenne, welcher sich bereits durch Briefe, die er nach Italien, Polen, Schweden, Holland usw. schrieb, den durch sein Verdienst dort erworbenen Freunden zu Mitteilungen davon verpflichtet hat." Diese Briefe, um die demnach Pascal wußte, mußten also den Vorschlag doch wohl enthalten haben. Erhielt ihn also Pascal von anderer Seite, so spricht alles dafür, daß er von Mersenne kam. Nun ist aber, worauf Duhem mit Recht aufmerksam macht, die Idee dazu eine so naheliegende, daß es nicht zu verwundern wäre, wenn jeder der drei genannten Männer die zu ihr führende Folgerung, jeder für sich, gezogen hätte. Hat doch bereits Torricelli die erste Idee zu dieser Prüfung seiner Lehre deutlich ausgesprochen, wenn er in dem Briefe an Ricci sagt[1]: „Ich aber glaube nicht soviel, weil ich beweisen würde, daß das Vakuum einen viel größeren Widerstand leisten müßte, als es leistet, wenngleich es für sie die Ausrede gibt, daß jenes von Galilei bestimmte Gewicht sich auf die Luft in ihren tiefsten Teilen bezieht, wo die Menschen und Tiere leben, daß aber über den Gipfeln der hohen Berge die Luft sehr rein zu werden beginnt und sehr viel leichter als der vierhundertste Teil des Gewichtes des Wassers."

So zeigt sich auch an diesem Beispiel, daß der Fortschritt der Naturwissenschaft ein stetiger ist. Nicht plötzlich treten neue Ideen und Anschauungen auf, sie nehmen vielmehr ihren Ursprung von unbedeutenden Anfängen, und die wichtigste Arbeit der Forscher, von der wir zu berichten haben, ist die Entwicklung der unscheinbaren Keime, ihr Herausarbeiten zu immer größerer Klarheit. Nur die Unkenntnis der vorhandenen, jene Entwicklung bildenden Arbeiten hat diesen Tatbestand häufig genug verdunkeln können.

Ähnlich wie bei dem Versuche vom Puy de Dome liegen die Verhältnisse in betreff von Pascals Arbeiten auf hydrostatischem Gebiete, die er, angeregt durch Mersennes mehrerwähnte Schrift

---

[1]) Hellmann, Neudrucke usw., Nr. 7, S. (1). Ma io non credo tanto, perche mostrerei, che il Vacue doverebbe far molto maggior resistenza, che non fa, se bene vi è per loro il ripiego, che quel peso scritto dal Galileo, s'intenda dell' aria bassissima doue praticano gli vomini, e gli animali, ma che sopra le cime degli alti monti l'aria cominci ad esser purissima, e di molto minor peso, che la quattro cētesima parte del peso dell' acqua.

»Cogitata physico-mathematica«, begann. Sie bilden den Inhalt des dritten der oben erwähnten Werke, das nach seines Schwagers zu frühem Tode Périer im Druck erscheinen ließ. Pascal trägt darin den Satz, der noch heute seinen Namen führt, vor. Er will den Deckel eines völlig geschlossenen Gefäßes mit zwei röhrenförmigen Ansätzen versehen, in denen sich Kolben bewegen und zeigt, daß, wenn die Ansätze verschieden weit sind, daß ein auf den engern aufgesetztes kleines Gewicht ein sovielmal größeres Gewicht, als die weitere Öffnung an Querschnitt größer ist wie die engere im Gleichgewicht hält. Darin sieht er ein neues Prinzip der Mechanik, mit dessen Anwendung man imstande sei, die Kraftwirkungen in jedem beliebigen Maße zu vervielfältigen. Durch beide Kolben aber wird das Wasser gleichmäßig gepreßt. Die Wege der Kolben aber werden vergrößert im Verhältnis der Kräfte, woraus die wahre Ursache dieser Wirkung genommen werden kann. „Man muß sich wundern," fügt er hinzu, „daß sich in dieser neuen Maschine die feste Regel zeigt, die sich in den bereits im Altertum bekannten, dem Hebel, dem Rad an der Welle, der Schraube ohne Ende usw. findet, nämlich, daß der Weg in dem nämlichen Verhältnis wie die Kraft zunimmt[1])."

Wie er nun diese Sätze auf das Prinzip der virtuellen Verschiebungen gründet, wenn er es auch, was Mach rügt[2]), nicht als etwas logisch Einleuchtendes, sondern nur als etwas durch die Erfahrung Gegebenes hätte betrachten müssen, so gründete er darauf auch die Untersuchung der Druckverhältnisse in verschieden gestalteten Röhren, die ihn zur Aufstellung des als hydrostatisches Paradoxon bekannten Satzes führte. Neben einem zylindrischen bildet er Gefäße der verschiedensten Form, aber mit gleicher Bodenfläche ab und kommt zu dem Ergebnis, daß erfahrungsgemäß der Druck auf den Boden in allen der nämliche ist und gemessen wird durch das mit der Wage zu bestimmende Gewicht des Wassers im zylindrischen Gefäß, obwohl die Wassermenge in allen eine ganz verschiedene ist[3]). Ist aber das Wasser

[1]) Pascal, Traité de l'Equilibre des Liqueurs. Chap. II. Oeuvres de Pascal, T. IV, 1779, S. 227. Et l'on doit admirer, qu'il se rencontre en cette Machine nouvelle cet ordre constant qui se trouve en toutes les anciennes, savoir, le levier, le tour, la vis sans fin, &c., qui est, que le chemin et augmenté en même proportion que la force.

[2]) Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung. 6. Aufl. Leipzig 1908, S. 56.

[3]) Pascal a. a. O., Pl. I, Fig. 1 bis 5.

gefroren, so hat nur der Boden das Gewicht des gefrorenen Wassers zu tragen, falls die Form des Gefäßes erlaubt, daß der ganze Eiskörper einen Druck auf ihn ausübt. Die so erhaltenen für Flüssigkeiten gültigen Ergebnisse dehnt er dann auf die Gase aus und zeigt, daß das Saugen, die Wirkungen der Saugpumpe usw. auf dem Luftdruck beruhen, für den er freilich auch das auf Adhäsion beruhende Aneinanderhaften zweier geschliffener Platten verantwortlich macht.

Wie bereits angedeutet, hat Pascal auch diese Sätze, die zur Grundlage der gegenwärtigen Lehre von den flüssigen Körpern geworden sind, nicht selbständig gefunden. Spricht er sich doch selbst folgendermaßen darüber aus[1]): „Man soll nicht sagen, daß ich nichts Neues gemacht habe; die Anordnung des Stoffes ist neu. Wenn man Ball spielt, so ist es der nämliche Ball, mit dem man spielt, der eine wie der andere, aber der eine hat den besseren Platz. Ich wünschte deshalb, daß man von mir sagte, daß ich mich der herkömmlichen Worte bedient hätte. Als ob dieselben Gedanken nicht einen anderen Gesprächsstoff durch eine veränderte Anordnung bildeten; ebenso bilden wohl dieselben Worte andere Gedanken durch ihre veränderte Anordnung." Also nur die Anordnung des Stoffes nimmt Pascal für sich in Anspruch. In der Tat ist es nicht schwer, darzutun, woher er den Stoff zu nehmen hatte und genommen hat[2]). Vieles über das Gleichgewicht der Flüssigkeiten hatte Mersenne bereits in seinen Schriften, aber ohne jede Methode und Ordnung niedergelegt; das Verhalten der Flüssigkeiten in kommunizierenden Röhren verschiedener Weite war schon von Benedetti, wohl unter dem Einfluß von Leonardo da Vinci ausgesprochen, aber er hatte daraus das der hydraulischen Presse zugrunde liegende Prinzip noch nicht gezogen; Stevin hatte zwar abgeleitet, daß der Druck auf den Boden und die Wände einer Flüssigkeit nur von deren Größe und der Höhe des Flüssigkeitsspiegels über ihnen abhängt, er hatte aber übersehen, daß dies nur ein spezieller

---

[1]) Pascal, Pensées. Ed. Havet, Art. VII, 9. »Qu'on ne dise pas que je n'ai rien fait de nouveau; la disposition des matières est nouvelle. Quand on joue à la paume, c'est une même balle dont on joue, l'un et l'autre, mais l'un a la place mieux. J'aimeraïs autant, qu'on me dît que je me suis servi des mots anciens. Et comme si les mêmes pensées ne formaient pas un autre corps de discours par une disposition differente; aussi bien que les mêmes mots forment d'autres pensées par leur differente disposition«.

[2]) Vgl. Duhem, Le Principe de Pascal. Revue générale des Sciences 1905. 16. Jahrg., S. 599 ff.

Fall des Grundgesetzes der Hydrostatik ist, aus dem auch die Gesetze der auf die eingetauchten und schwimmenden Körper geltenden Drucke folgen, während Galilei zwar diese Druckverhältnisse aus den allgemeinen Gleichgewichtsgesetzen der Flüssigkeiten ableitete, aber daraus nicht die Schlüsse auf die Drucke zog, welche die Flüssigkeiten auf die sie einschließenden Wände ausüben; die allgemeinen Gesetze über das Gleichgewicht der Flüssigkeiten hatten Des Cartes und Torricelli aufgestellt. Diesen zerstreuten Stoff zusammengefaßt, seine einzelnen Teile in die richtigen Beziehungen zueinander gebracht und die sich daraus ergebenden Folgerungen gezogen zu haben, war das Verdienst Pascals.

2. Das Zeitalter der Entdeckungen auf physikalischem Gebiet von Des Cartes bis Huygens und Newton.

a) Die Naturwissenschaft und die Philosophie Bacon von Verulams und Des Cartes.

Im Mittelalter war die Sitte des Altertums, die Physik insofern als zur Philosophie gehörig zu betrachten, als sie als Naturlehre einen Teil des Systemes ausmachte, in Geltung geblieben. Seitdem hatte sie an Umfang beträchtlich eingebüßt, die beschreibenden Naturwissenschaften hatten sich namentlich infolge des viel größeren Umfangs, den sie der Fülle neuen, namentlich nach der Entdeckung Amerikas, zufließenden Materials verdankten, abgetrennt, dafür aber war der Mathematik ihre ihr für das Studium der Physik zukommende wichtige Stelle angewiesen worden. So war die Physik ebenso wie die bereits ihre eigenen Wege wandelnde Astronomie mit Riesenschritten vorwärts gegangen, während die in den Banden der Scholastik liegende Philosophie immer mehr verknöcherte. Wer sich gegen deren Anschauungen auflehnte, endete auf dem Scheiterhaufen, wie Giordano Bruno, oder mußte widerrufen, wie Galilei, wenn ihn die geistliche Macht erreichen konnte. Und auch wenn dies nicht der Fall war, konnte sich der gläubige Katholik nur schwer entschließen, gegen die für ihn höchste Autorität aufzutreten, und so unterließ es Des Cartes 1633 die bereits erwähnte Arbeit »Le monde« zu veröffentlichen, als er von Galileis erzwungenem Widerrufe des Kopernikanischen Systemes erfuhr, da auch er darin sich dessen Lehre angeschlossen hatte.

Aber Roms Macht reichte nicht in die protestantischen Länder, und hier traten bald freiere Regungen hervor, die auch der Physik und den übrigen Naturwissenschaften zugute kamen. Wenn wir dort nun auch nach antikem Muster aufgestellten philosophischen Systemen begegnen, so zeigte sich doch ein bedeutsamer Fortschritt sowohl in der Anerkennung der Bedeutung der Mathematik für die Physik, als auch in der Erkenntnis der Unentbehrlichkeit der induktiven Methode. Hatte diese bereits in der Physik einen vollständigen Umschwung hervorgerufen, so geschah dies nun auch in der Philosophie. Sie wurde durch Bacon von Verulam mit der in ihr noch nicht zur Anwendung gebrachten Methode bekannt gemacht, und Zeller beginnt deshalb mit dem genannten Forscher in seinen Vorträgen über die Geschichte der neueren Philosophie die Periode des Empirismus, womit er dessen wissenschaftliche Bedeutung hoch genug einschätzt. In ähnlicher Weise spricht sich Schwegler[1]) aus, während Lange[2]) ihn abergläubischer mit Eitelkeit gepaarter Unwissenheit zeiht, Liebig[3]) endlich ihm jeden „Sinn für die Wahrheit und Wahrhaftigkeit" abspricht. Einen vermittelnden Standpunkt nehmen die Verfasser der neueren Bearbeiter der Geschichte der Physik ein, und wenn es sich auch herausstellen sollte, daß die Spur, die er darin zurückgelassen hat, kaum nachweisbar sein sollte, so wird es bei solcher Sachlage nicht zu umgehen sein, das Wirken des vielumstrittenen Mannes eingehender zu betrachten.

Francis Bacon war 1561 als Sohn des Großsiegelbewahrers der Königin Elisabeth von England in London geboren. Er wandte sich anfangs der juristischen und parlamentarischen Laufbahn zu, da es ihm nicht gelang, unter der Regierung der jungfräulichen Königin ein Staatsamt zu erhalten, obgleich er es nicht unter seiner Würde hielt, auf den Wunsch Elisabeths eine Schrift zu verfassen, deren Zweck war, seines früheren Gönners, des unglücklichen Grafen Essex Hochverrat nach dessen Hinrichtung nachzuweisen. Besser glückte es ihm unter Elisabeths Nachfolger Jakob I., der ihn 1617 zum Großsiegelbewahrer, 1618 zum Großkanzler erhob, auch zum Baron von Verulam und später zum Viscount St. Albanis machte.

---

[1]) Schwegler, Geschichte der Philosophie im Umriß. Stuttgart 1848, S. 95.

[2]) Lange, Geschichte des Materialismus. 4. Aufl., S. 175.

[3]) Liebig, Über Francis Bacon von Verulam und die Methode der Naturforschung. München 1863, S. 45.

Sein Ansehen erreichte seinen Höhepunkt, als 1620 sein berühmtestes Werk unter dem Titel Novum organum scientiarum, der neue Organismus der Wissenschaften, herauskam, aber seine Herrlichkeit dauerte nicht lange, denn bereits im folgenden Jahre wurde er vor dem Parlament angeklagt, daß er gegen Geld Ämter und Privilegien unter Verwendung des Staatssiegels verliehen habe, und da er diesen Tatbestand nicht leugnen konnte, seiner Ämter entsetzt und als Gefangener in den Tower abgeführt. Indessen wurde er nach zweijähriger Einschließung begnadigt und bald darauf vom Könige mit einem Jahrgehalt bedacht. Da er später auch in das Haus der Lords berufen wurde, wo er seinen Sitz freilich nie eingenommen hat, so scheint seine Schuld nicht allzu groß gewesen zu sein, und es ist wohl möglich, daß er für das verfehlte Regierungssystem des ersten Stuart gelitten hat. Die letzten Jahre seines Lebens, das er 1626 in der Nähe von London beschloß, waren lediglich seinen wissenschaftlichen Arbeiten gewidmet.

Ihre Ergebnisse beabsichtigte er in einem großen Werke, der Instauratio magna, niederzulegen, deren erster Teil die Einteilung und Übersicht der Wissenschaften, der zweite das Werkzeug aller Wissenschaften, die Vernunft, also die Methodenlehre, behandeln sollte, der dritte war der Beschreibung der Erscheinungen des Weltalls bestimmt, drei weiteren war die Darstellung des sich daraus ergebenden philosophischen Systems vorbehalten. Vollendet wurde nur der erste vollständig und enthielt die beiden Teile, das 1620 erschienene Novum Organon und die 1623 vollendete Schrift: De Dignitate et augmentis scientiarum (Über die Würde und den Fortschritt der Wissenschaften). Ihnen schließen sich eine Reihe Abhandlungen an, die den Inhalt der folgenden Teile bilden sollten, die zum Teil erst nach seinem Tode erschienen. In einer von ihnen, die den Titel des Filum labyrinthi (labyrinthischen Fadens) führt, schildert Baco den Stand der Naturwissenschaft seiner Zeit mit folgenden Worten[1]: „Die Schriften einiger älteren Schriftsteller gelten für die wahre Wissenschaft.... Nun ist aber die Naturwissenschaft eine Überlieferung, der man glauben soll, statt sie zu untersuchen und durch neue Entdeckungen zu bereichern; es folgt der Schüler dem Lehrer, und es verhält sich nicht so, daß dem Erfinder ein Fortsetzer und Weiterführer folgt, und daher steht die Naturwissenschaft stille, und

---

[1]) Nach der Übersetzung von Kristine Meyer, Zur Geschichte der Antiperistasis. Annalen der Naturphilosophie 1904, Bd. III, S. 413.

zwar schon seit Menschenaltern, und das einmal Festgestellte bleibt bestehen und das Zweifelhafte bleibt zweifelhaft. ... Kenntnisse werden den Menschen in einer Form dargestellt, als wäre alles vollkommen."

Dieser Zustand muß durch eineu besseren ersetzt werden, und deshalb gibt Baco eine äußerst ausführliche Darstellung der Methode, welche die Naturwissenschaft, insbesondere die Physik, einzuhalten habe, um das Wirken und Wesen der Dinge zu erforschen. Hat aber Libri[1]) mit der Behauptung recht, daß Bacon bei der Abfassung des Organon die damals erschienen Schriften Galileis kannte, dann kann man seine Arbeiten nur als einen Rückschritt bezeichnen und ist genötigt, ihren Wert für den Fortschritt der physikalischen Wissenschaften recht niedrig einzuschätzen. Hält doch ihr Urheber von der Anwendung der Mathematik gar nichts, während ihn doch die mit Hilfe dieses Werkzeuges erhaltenen Forschungsergebnisse Galileis durchaus eines besseren hätten belehren müssen. Ebenso abhold zeigte er sich den Fortschritten auf physikalischem und mathematischem Gebiete, soweit ihm solche bekannt waren. Das Kopernikanische Weltsystem erkannte er nicht für richtig an, er war einer der wenigen Anhänger des Tychonischen, von welchen die Geschichte zu berichten hat. Dagegen ist ihm daraus, daß er nur die so unvollkommene älteste Form des Thermometers kannte, kein Vorwurf zu machen, denn die von Santorio angebrachten Verbesserungen fallen etwa in die Zeit des Organon und haben sich wohl nicht sehr rasch verbreitet. So bleibt dem Kanzler Jakobs I. nur das Verdienst, die induktive Methode in Philosophie und Physik eingeführt zu haben, deren Bedeutung für jene Zeller nicht hoch genug anschlagen zu können meint, während Rosenberger[2]) sich auf den Standpunkt von Lewes[3]) stellt, der die Meinung vertritt, daß Bacons weittragende Gedanken mächtig auf seine und die folgende Generationen eingewirkt hätten, daß sie die wissenschaftliche Haltung geadelt, die Menschen auf die Forschungen, die sie sonst gering geachtet haben möchten, stolz gemacht, ihnen die Eitelkeit der subjektiven Methode vorgehalten und eifrig auf die Notwendigkeit geduldiger Befragung der Natur gedrungen habe.

---

[1]) Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie. Tome IV. Paris 1841, S. 160 u. 466.

[2]) Rosenberger, Geschichte der Physik. 2. Teil. Braunschweig 1884, S. 70 ff.

[3]) Lewes, Geschichte der Philosophie. II. Teil, S. 128.

Sehen wir hier von der Bedeutung Bacons für die Philosophie ab, und betrachten nur vom Standpunkt der Geschichte der Physik seine Vorschläge für induktive Forschung, so dürfte freilich gerade das Gegenteil von dem herauskommen, was Lewes und Rosenberger finden. Tadelt doch der letztere selbst, daß der Lobredner der Induktion das induktive Verfahren der Naturwissenschaft deshalb gar nicht empfiehlt, weil er die Deduktion und die Aufstellung von Hypothesen, also auch von Arbeitshypothesen verwirft. Betrachtet man weiter die geradezu entsetzliche Weitläufigkeit des auch von Rosenberger als Beispiel aufgenommenen Programms zur Erforschung des Wesens der Wärme, dann begreift man, daß seine Methode außer von ihm selbst von niemanden anders aufgenommen worden ist, wenn man nicht etwa die große Zahl der noch zu lösenden Fragen, die Newton seiner Optik angehängt hat, auf Bacon zurückführen will. So fehlt der seinigen gerade der Teil der induktiven Methode, der sie erst für die Naturwissenschaft brauchbar macht, und die Auswahl der Fragen macht sie zu einer so subjektiven, wie sie Lewes gerade auf das schärfste verurteilen zu müssen glaubt. Man halte nicht entgegen, daß Bacon mittels seiner Fragestellung ja doch das Ergebnis der neueren Physik, daß die Wärme eine „ausdehnende Bewegung sei, die gehemmt wird und in den kleineren Teilen erfolgt", vorweg genommen habe, denn dieser Satz gründet sich, wie Rosenberger[1]) selbst sagt, auf so „schauderhaft falsche Daten", ist auch kaum mehr, als was andere Zeitgenossen auch dachten und leidet endlich an einer so großen Unklarheit, daß man der Wissenschaft nicht verargen kann, wenn sie darauf nicht weiter gebaut hat. Daß er dabei auf die Tatsache, daß alle Körper durch Reibung warm werden, aufmerksam macht, gereicht ihm nur scheinbar deshalb zum Verdienst, weil daraus später die Grundlage für die mechanische Wärmetheorie genommen wurde, und so ist es nicht angängig, ihn mit Haas[2]) als Begründer der mechanischen Wärmetheorie gelten zu lassen. So versagt denn auch die Probe, aus der man auf die geschichtliche Bedeutung seiner Lehre zu schließen berechtigt ist, daß sie eine, wenn auch noch so kleine Wirkung hinterlassen hat. Eine solche ist in den auf Bacon folgenden Jahrhunderten nirgends zu

---

[1]) Rosenberger, Geschichte der Physik. 2. Teil. Braunschweig 1884, S. 82.

[2]) Haas, Die Entwicklungsgeschichte des Satzes von der Erhaltung der Kraft. Wien 1909, S. 41.

verspüren, und wenn Liebig[1]) in ihr das „Musterbild der in England unter den Dilettanten in der Wissenschaft üblichen Experimentiermethoden und Schlußweisen" in der Mitte des vorigen Jahrhunderts aufgefunden hat, so ist es ihm ein leichtes, zu zeigen, daß dies keineswegs für Bacon, um so mehr aber gegen die ihm nacheifernden Dilettanten spricht. So wird man nicht umhin können, sich dem Urteil Dührings[2]) anzuschließen, welches er folgendermaßen gibt: „Erinnern wir uns dessen, was Leonardo da Vinci über die Methode des Forschens in wenige Worte gedrängt hatte und was im Zeitalter Galileis bereits durch großartige Betätigung im mechanischen Wissen positiv vertreten war, so erscheint Bacons Neues Organon nicht bloß als eine Bekundung der Rückständigkeit, sondern auch als ein von der richtigen Methode abführendes Ablenkungsmittel. In der Tat hat auch die ganze höhere Naturwissenschaft nur dadurch weiterkommen können, daß sie nie in Versuchung geraten ist, von den Rezepten des englischen Kanzlers Gebrauch zu machen." Das Zeitalter Galileis aber war das Bacons, und daß dieser die gedankenreichen Schriften jenes gekannt hat, haben wir gesehen, und so begreift man nicht, wie es möglich ist, in diesem nirgends in die Tiefe dringenden Schriftsteller den Verfasser jener gigantischen Werke zu sehen, als deren Schöpfer bis dahin und doch wohl mit Recht William Shakespeare angesehen worden ist.

So bleibt denn nur der Satz Bacons bestehen, daß die Naturwissenschaft mit dem Zweifel an allem zu beginnen habe. Diesen Satz hat auch ein jüngerer Zeitgenosse des Kanzlers, dem die Wissenschaft weitaus Größeres verdankt, hat Des Cartes an die Spitze seiner Untersuchungen gestellt. René Des Cartes oder Renatus Cartesius, wie er sich in seinen lateinischen Schriften nannte, war 1596 in La Hay in der Touraine als Sohn des Parlamentsrates zu Rennes geboren. Seinen ersten Unterricht erhielt er in der von Heinrich IV. von Frankreich in La Flêche errichteten Jesuitenschule, wo er schon früh eine besondere Vorliebe für die Mathematik zeigte. 1613 begab er sich nach Paris, um sich dort auf Wunsch seines Vaters für den Militärdienst auszubilden. In die vielfachen Zerstreuungen seiner Standesgenossen allzu sehr hineingezogen, befriedigte ihn dieses

[1]) Liebig, Über Francis Bacon von Verulam. München 1863. Vorrede S. V. — [2]) Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik. 3. Aufl. Leipzig 1887, S. 104.

Leben nicht auf die Dauer, und da er in Paris seine Schulfreunde Mydorge und Mersenne wiedergefunden hatte, und von ihnen sein Streben nach wissenschaftlicher Arbeit neu belebt war, so zog er sich, ohne jemanden mit seinem Aufenthalt bekannt zu machen, in die Einsamkeit zurück, in der er bis 1616 nur seinen Studien oblag. Als ihn aber seine früheren Genossen wieder entdeckten, entzog er sich ihnen von neuem dadurch, daß er 1617 holländische Kriegsdienste nahm, die ihn nach Breda führten. Während der zwei Jahre, die er dort zubrachte, lernte er den bereits erwähnten Beeckmann kennen, mit dem er innige Freundschaft schloß. Bis zu seinem 25. Jahre blieb er bei seiner militärischen Laufbahn, die ihn in der Folge in bayerische, dann in kaiserliche Dienste führte. Dann gab er sie für immer auf, verkaufte seine Güter in Poitou, um sich nun auf Reisen zu begeben, die ihn nach Italien und Frankreich führten. In Paris hielt er sich dann wieder länger auf. 1629 siedelte er nach Holland über. Hier lebte er während der folgenden 20 Jahre vielfach wegen seiner Philosophie angefeindet, an verschiedenen Orten, machte dazwischen aber immer wieder Reisen nach Deutschland, Dänemark und Frankreich. Als er dann 1649 einer Einladung der Tochter Gustav Adolfs, der Königin Christine, folgte, geschah dies nur, um seine irdischen Überreste in fremder Erde zu betten. Schon im folgenden Jahre ereilte ihn zu Stockholm ein früher Tod, 1667 wurden seine Gebeine nach Paris übergeführt.

Seine Hauptwerke verfaßte er während seines Aufenthaltes in Holland; es war ein vollständiges philosophisches System, welches er dort ausarbeitete. Dies übersieht Bosscha, wenn er ihn der Ehrsucht, das ganze Weltall durch die Macht seines Denkens aufzubauen zeiht[1]). Er beginnt wie Bacon mit der Überlegung, daß der Wahrheitsuchende an allem, was geschehen könne, zweifeln müsse, nur nicht an der Tatsache dieses Zweifels selbst[2]). Dieser aber ist ohne sein Denken unmöglich, und so gewinnt er die Grundlage seines Systems in dem berühmten Satz: Cogito, ergo sum", ich denke, also bin ich. Aus keiner andern Tätigkeit des Menschen kann aber seine Existenz in ähnlicher Weise abgeleitet werden, denn keiner kommt eine nur ähnliche Gewißheit zu. Da der Mensch aber unter seinen Ideen die Gottes-

---

[1]) Bosscha, Christian Huygens. Deutsch von Engelmann. Leipzig 1895. S. 17. — [2]) Renati Descartes Opera Philosophica. Amstelodami 1692. Principiorum Philosophiae Pars prima, S. 1 ff. Die erste Ausgabe erschien 1644 in Amsterdam.

idee findet, eines soviel vollkommeneren Wesens als er selbst, so kann ihm diese nur von Gott eingepflanzt sein, Gott muß also existieren, und da ferner zu den Eigenschaften Gottes die Wahrhaftigkeit notwendig gehören muß, so kann er den Menschen nicht täuschen wollen, und es muß der Inhalt einer klaren und deutlichen Erkenntnis eines Gegenstandes der Beweis für seine Existenz sein. Es müssen also die denkende und die körperliche Substanz nebeneinander wirklich vorhanden sein[1]), die letztere aber zu erkennen, ist Sache der Naturlehre.

Dies geschieht vermittelst ihrer Attribute oder Eigenschaften, deren eine die wichtigste ist, nämlich die Ausdehnung nach der Länge, der Breite und der Tiefe, während die denkende Substanz nur das Denken selbst erkennen läßt[2]). Wenn nun aber die Zeit, die Ordnung und die Zahl als voneinander verschieden erkannt werden können, so sind sie doch keine Substanzen, sondern nur Modi (Zustände übersetzt Laßwitz)[3]). Durch sie wird die Substanz angegriffen oder verändert, kann sie nach solcher Veränderung benannt werden, so ermöglichen dies ihre Eigenschaften, was aber der Substanz im allgemeinen zukommt, sind ihre Attribute, und demnach kann Gott wohl solche, aber nicht Modi oder Eigenschaften haben[4]). Bei unseren Perzeptionen haben wir aber vier Ursachen, die uns Irrtümer befürchten lassen, die uns von Kindheit an eingeprägten Vorurteile, die Unmöglichkeit, sich ganz von ihnen frei zu machen, die Unvollkommenheit unserer Sinne und unsere Unfähigkeit, Beobachtetes in zutreffender Weise durch Worte auszudrücken[5]). Nicht von ihren Eigenschaften hängt aber die Natur der Materie ab, sondern nur von ihrer Ausdehnung[6]). Einen leeren Raum im Sinne der Philosophen kann es demnach nicht geben, denn da er doch immer ausgedehnt wäre, so müßte er mit der körperlichen Substanz zusammenfallen. Aber aus demselben Grunde kann es auch keine unteilbaren Atome geben; denn da sie als Teile der körperlichen Substanz Ausdehnung besitzen[7]), so müssen sie auch teilbar sein. Aber es kann auch nur eine Art Materie im Raume, der als un=

[1]) Ebenda S. 13.
[2]) Ebenda S. 14.
[3]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik, Bd. II. Hamburg und Leipzig 1890, S. 57.
[4]) Des Cartes, Principia philosophiae, S. 15.
[5]) Ebenda S. 20.
[6]) Ebenda S. 25.
[7]) Ebenda S. 31.

begrenzt aufgefaßt wird, vorhanden sein, alle Verschiedenheit der Materie, alle Verschiedenheit der Formen kann nur von der Bewegung herrühren. Die Bewegung kann aber nur eine räumliche sein, gewöhnlich faßt man sie auf als „die Tätigkeit, durch welche ein Körper sich von einem Ort an einen anderen begibt“[1]). Des Cartes aber will darunter[2]) „die Überführung eines Teiles der Materie oder also eines Körpers aus der Nachbarschaft derjenigen Körper, welche jenen unmittelbar berühren und gleichsam als ruhend angenommen werden, in die Nachbarschaft anderer“ verstanden wissen, denn die Bewegung kommt stets dem Bewegten, aber nicht dem Bewegenden zu; unter Körper aber versteht er das, was gleichzeitig bewegt wird. Dann aber kann die Bewegung nicht außerhalb des bewegten Körpers sein, und Ruhe und Bewegung sind nur zwei verschiedene Zustände.

In den Prinzipien der Philosophie trägt Des Cartes die abgeschlossene Lehre vor, deren philosophische Grundlagen das Vorstehende enthält. Die Vorarbeiten dazu enthielt die 1633 verfaßte, aber von ihm der Vorsicht halber nicht veröffentlichte Schrift Le monde, die erst 1677 Clerselier herausgab, und die erkennen läßt, daß Des Cartes die Arbeiten seiner Vorgänger benutzt und verarbeitet hat; daß er diese nicht aufführt, ist ihm nicht selten zum Vorwurf gemacht worden, sicher aber mit Unrecht, denn einesteils war das Zitieren, worauf bereits früher aufmerksam gemacht wurde, zu seiner Zeit viel weniger Sitte als heutzutage, und Duhem muß eingestehen, nachdem er Des Cartes mit harten Worten dieses Nichterwähnen seiner Vorgänger vorgeworfen hat, daß es Galilei und Stevin eben nicht anders gemacht haben[3]). Sodann handelte es sich für Des Cartes lediglich um die Aufstellung seines lückenlosen philosophischen Systemes, wo derartige Anführungen der Natur der Sache nach keinen Platz fanden. Indem wir uns nun zur näheren Betrachtung seiner Mechanik und seiner Ansichten von der Konstitution der Körper wenden, werden wir Gelegenheit finden, den Zusammenhang seiner Lehre mit der seiner Vorgänger klar zu legen.

[1]) Ebenda S. 32: actio, quâ corpus aliquod ex uno loco in alium migrat.

[2]) Ebenda S. 33: esse translationem unius partis materiae, sive unius corporis, ex vicinia eorum corporum, quae illud immediatè contingunt, et tanquam quiescentia spectantur, in viciniam aliorum.

[3]) Duhem, Les origines de la Statique. Paris 1905, S. 333.

b) Die Mechanik des Des Cartes; De Roberval.

Von seinem philosophischen Standpunkte aus konnte Des Cartes die Art, wie Galilei gearbeitet hatte, nicht anerkennen, und er hat daraus in den vielen ebenfalls von Clerselier herausgegebenen Briefen an Mersenne durchaus kein Hehl gemacht. So schreibt er an den Minoriten[1]): „Er (Galilei) habe, ohne die ersten Ursachen der Natur zu betrachten, nur die Gründe einiger besonderen Wirkungen gesucht und so ohne Fundament gebaut" und erklärt seine Meinung noch deutlicher durch die Kritik der Galileischen Fallversuche: „Alles, was er von der Geschwindigkeit der Körper sagt, welche im leeren Raum fielen, ist ohne Fundament aufgebaut; denn er hätte zuvor bestimmen müssen, was die Schwere sei, und wenn er davon das Richtige wußte, so würde er wissen, daß sie im leeren Raum gar nicht vorhanden ist." Von diesem seinem philosophischen Standpunkte aus hat Des Cartes denn auch die Mechanik zu behandeln gesucht, und wenn er trotzdem zu Ergebnissen kam, die jetzt noch volle Gültigkeit haben, so hat dies einmal darin seinen Grund, daß er doch sich experimentell vielfach betätigte und sodann darin, daß ihm mathematische Hilfsmittel zu Gebote standen, die seine Vorgänger und Zeitgenossen noch nicht besaßen. War er doch der Schöpfer der analytischen Geometrie[2]) und der Erfinder der Methode der unbestimmten Koeffizienten[3]), welche beiden Lehren in seinem 1637 in Leiden gedruckten Essais philosophiques im letzten Teil der Geometrie dargelegt werden, 1644 aber als Specimina philosophica in lateinischer Übersetzung erschienen. Nebenbei ist zu erwähnen, daß auch die Bezeichnung bekannter und unbekannter Größen mit dem Anfangsbuchstaben und nicht mit den Endbuchstaben des Alphabets von ihm herrührt[4]).

Das erste seiner Bewegungsgesetze war nicht neu, es war das Gesetz der Trägheit, des Inhaltes[5]), „daß jeder Gegenstand, soviel an

[1]) Nach der Übersetzung von Dühring: Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik. 3. Aufl. Leipzig 1887, S. 106. — Les Lettres de René Des Cartes, Bd. II, Paris 1659, S. 391 u. 394.

[2]) Vgl. auch Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. 2. Aufl. 2. Bd. Leipzig 1900, S, 811 ff.

[3]) Ebenda S. 749 ff.

[4]) Ebenda S. 793.

[5]) Des Cartes, Principia philosophiae S. 38: quod unaquaeque res quantum in se est, semper in eodem statu perseveret; sicque quod semel movetur semper moveri pergat.

ihm liegt, immer in den nämlichen Zustand verharren wird; und so wird, was einmal in Bewegung sich befindet, immer in Bewegung bleiben." Dafür mußte er aber, wenn er nicht so wie Galilei vorgehen wollte, die Begründung suchen, das aber ist ihm nicht schwer, wie der Ausgangspunkt seines ganzen Systemes ist dies eben Gott oder in diesem Fall die Unveränderlichkeit Gottes. Dagegen hält er sich wiederum an die Erfahrung, wenn er darauf aufmerksam macht, daß die Luft oder andere Flüssigkeiten, in denen sich die bewegten Körper befinden, sie zurückhalten, so daß diese den durch jene geleisteten Widerstand, welchen wir z. B. bei der Bewegung des Fächers wahrnehmen, überwinden müssen[1]).

Das zweite seiner Bewegungsgesetze sagt[2]): „daß jede Bewegung von sich selbst in einer geraden Linie erfolge, und daß also Körper, welche im Kreise bewegt werden, immer das Bestreben haben, sich vom Mittelpunkt des Kreises, welchen sie beschreiben, zu entfernen." Das dritte Bewegungsgesetz hat die Erscheinungen, welche beim Stoß zweier Körper eintreten, zum Gegenstand. Sein Inhalt wird kurz so gefaßt[3]), „daß ein Körper bei Begegnung mit einem anderen stärkeren nichts von seiner Bewegung verliert, bei Begegnung mit einem schwächeren aber nur soviel verliert, als er auf jenen überträgt". Was aber unter dem stärkeren oder schwächeren Körper zu verstehen sei, ergibt sich aus der folgenden Darlegung[4]): „Hier aber ist sorgfältig zu

---

[1]) Ebenda S. 39.

[2]) Ebenda S. 39: Quòd omnis motus ex se ipso sit rectus, et ideò quae circulariter moventur, tendere semper, ut recedant à centro circuli quem describunt.

[3]) Ebenda S. 40: Quòd unum corpus alteri fortiori occurrendo, nihil amittat de suo motu; occurrendo verò minùs forti tantùm amittat quantùm in illud transfert.

[4]) Ebenda S. 41: Hìc verò diligenter advertendum est, in quo consistat vis cujusque corporis ad agendum in aliud, vel ad actioni alterius resistendum nempe in hoc uno, quòd unaquaeque res tendat, quantum in se est, ad permanendum in eodem statu in quo est, juxta legem primo loco positam. Hinc enim id quod alteri conjunctum est, vim habet nonnullam, ad impediendum ne disjungatur; id quod disjunctum est, ad memendum disjunctum; id quod quiescit, ad perseverandum in sua quiete, atque ex consequenti ad resistendum iis omnibus quae illam possunt mutare; id quod movetur ad perseverandum in suo motu, hoc est, in motu ejusdem celeritatis, et versus eandem partem: visque illa debet aestimari tum à magnitudine corporis in quo est, et superficiei, secundùm quam istud corpus ab alio disjungitur; tum à celeritate motus ac naturâ, et contrarietate modi, quo diversa corpora sibi mutuò occurunt.

beachten, worin die Kraft eines jeden Körpers, auf einen anderen zu wirken oder der Einwirkung eines anderen Widerstand zu leisten, besteht: nämlich allein darin, daß jeder Gegenstand bestrebt ist, soviel an ihm liegt, in dem Zustand zu bleiben, in dem er sich befindet, wie es das erste Gesetz vorschreibt. Denn danach hat das, was mit einem anderen verbunden ist, keine Kraft, zu verhindern, daß es wieder getrennt wird; das was getrennt ist, getrennt zu bleiben, das was ruht, in seiner Ruhe zu bleiben und folglich, alledem zu widerstehen, was jene ändern kann; das was bewegt wird, in seiner Bewegung zu beharren, das ist, in der Bewegung mit derselben Geschwindigkeit und nach demselben Ziel: jene Kraft aber muß sowohl geschätzt werden nach der Größe des Körpers, dem sie innewohnt, und der Oberfläche, nach welcher eben dieser Körper von dem anderen getrennt wird; als auch nach der Geschwindigkeit der Bewegung und ihrer Natur und des Gegensatzes des Zustandes, in welchem verschiedene Körper sich wechselweise begegnen." Diese Worte enthalten den ersten Versuch der Definition derjenigen Größe, welche wir jetzt Bewegungsgröße nennen. Noch ist vieles unklar dabei, und dieser Versuch möchte wohl als Beleg der Quelle unserer Irrtümer dienen können, die Des Cartes in unserer Unfähigkeit, Beobachtetes in zutreffender Weise durch Worte auszudrücken, sieht. Daß aber sein Gefühl das Richtige war, beweist die Art, wie er sie zur Erklärung der Erscheinungen beim Stoße von Körpern verwendet, der er den Gedanken zugrunde legt, daß sie dabei ungeändert bleibe. So enthält denn das, was er über den Stoß sagt, manches Zutreffende, aber auch vieles, was sich als unhaltbar erwiesen hat. Ebensowenig zur vollen Klarheit durchgearbeitet, aber doch schon unverkennbar vorbereitet, ist bei ihm die Idee, daß die in der Welt vorhandene Bewegungsmenge immer dieselbe bleibt, wenn er sagt[1]): „Nachdem die

---

[1]) Ebenda S. 37: Motus naturâ sic animadversâ, considerare oportet ejus causam, eumque duplicem: Primò scilicet universalem et primariam, quae est causa generalis omnium motuum qui sunt in mundo; ac deinde particularem, à qua fit, ut singulae materiae partes motus, quos priùs non habuerunt, acquirant. Et generalem quod attinet, manifestum mihi videtur illam non aliam esse, quâm Deum ipsum, qui materiam simul motu et quiete in principio creavit, jamque per solum suum concursum ordinarium, tantundem motus et quietis in ea tota quantum tunc posuit, conservat. Nam quamvis ille motus nihil aliud sit in materia mota, quàm ejus modus, certam tamen et determinatam habet quantitatem, quam facilè intelligimus eundem semper in tota rerum universitate esse posse, quamvis in singulis ejus partibus mutetur. Ita scilicet ut putemus, cùm una pars

Natur der Bewegung so betrachtet worden ist, muß ihre Ursache, die eine doppelte ist, untersucht werden, zuerst nämlich die universale und ursprüngliche, welche die allgemeine Ursache aller Bewegungen in der Welt sind, und sodann die partikulare, die Ursache wird, daß einzelne Teilchen der Materie Bewegungen, welche sie zuvor nicht hatten, erlangen. Was nun die allgemeine anlangt, so scheint es mir offenbar, daß sie keine andere sei als Gott selbst, der im Anfang den Stoff zugleich mit Bewegung und Ruhe erschuf, und bereits durch ihre gewöhnliche Vereinigung ebensoviel Bewegung in ihrem Ganzen bewahrt, als er hineinlegte. Denn obgleich jene Bewegung in der bewegten Materie nichts als ihr Zustand ist, so hat sie doch eine bestimmte und begrenzte Menge, wie wir denn leicht einsehen, daß in der Allgemeinheit der Dinge immer dieselbe vorhanden sein könne, obgleich sie in ihren einzelnen Teilen sich verändert. So werden wir für richtig halten, daß, wenn ein Teil der Materie doppelt so rasch bewegt wird wie ein anderer, und dieser andere doppelt so groß ist wie der erstere, dieselbe Menge Bewegung in dem größeren wie in dem kleineren vorhanden sei und um wieviel die Bewegung eines Teiles langsamer wird, um ebensoviel die Bewegung eines anderen ihm gleichen rascher werde. Wir sehen auch ein, daß Gott vollkommen sei, nicht nur weil er in sich selbst unveränderlich ist, sondern auch weil er auf eine möglichst sich gleich bleibende und unveränderliche Art wirkt." Man wird in dieser Darlegung um so mehr eine erste Ahnung von dem Prinzip der Erhaltung der Energie sehen dürfen, als der in neuerer Zeit von Colding geführte Beweis dafür, den viele neuere Bücher anführen, mit dem des Des Cartes fast vollständig übereinstimmt.

Auch ein Werk über die einfachen Maschinen hat Des Cartes verfaßt. Er schickte es im Oktober 1637 an Konstantin Huygens, den Vater von Christian, der um ein solches gebeten hatte, und diese Bitte ist auch wohl die Ursache seiner Abfassung gewesen. Er gibt darin die Theorie der einfachen Maschinen in einer Weise, die seine Abhängigkeit von Galilei und Stevin deutlich beweist[1]),

---

materiae duplo celeriùs movetur quàm altera, et haec altera duplò major est quàm prior, tantundem motus esse in minore quàm in majore, ac quantò motus unius partis lentior fit, tantò motum alicujus alterius ipsi aequalis fieri celeriorem. Intelligimus etiam perfectionem esse in Deo, non solùm quòd in se ipso sit immutabilis, sed etiam quòd modo quàm maxime constanti et immutabili operetur.

[1]) Duhem, Les origines de la Statique. Bd. I. Paris 1905, S. 331 ff.

obwohl er in einem Briefe an Mersenne vom 11. Oktober 1638 besonders betont, mit Galilei weder in irgendeinem Verkehr gestanden, noch seine Bücher überhaupt gelesen zu haben. Aber auch einen wichtigen neuen Satz stellt er darin auf, den Satz, den man jetzt wohl die „goldene Regel der Mechanik" zu nennen pflegt und der in moderner Ausdrucksweise lauten würde, daß die Arbeit, welche nötig ist, um verschiedene Gewichte auf verschiedene Höhen zu heben, die nämliche bleibt, wenn sich das Produkt aus Gewicht in seine Erhebung nicht ändert[1]). In dieser Form aber sprach Des Cartes diesen Satz nicht aus, vielmehr verstand er unter Kraft dasselbe, was wir jetzt Arbeit nennen. Ein Teil seiner Zeitgenossen aber nahm Kraft in dem Sinne, in dem der Ausdruck jetzt gebraucht wird, und so kam es, daß Des Cartes vielfach unverstanden blieb. So nahm er denn des öfteren Veranlassung, sich über das, was er unter Kraft verstand, deutlicher auszusprechen[2]): „Man muß besonders darauf achten," schrieb er am 12. September 1638 an Mersenne, „daß ich von der Kraft gesprochen habe, welche dazu dient, ein Gewicht auf eine gewisse Höhe zu erheben, und welche immer zwei Dimensionen hat, und nicht von der, welche jedesmal dazu dient, einen Punkt an seiner Stelle zu halten, welche niemals mehr wie eine Dimension hat, so daß diese beiden Kräfte sich voneinander ebenso unterscheiden, wie sich eine Oberfläche von einer Linie unterscheidet." An einer weiteren Stelle des Briefes heißt es dann[3]): „Ich drücke mich nicht einfach so aus, daß die Kraft, welche

---

[1]) Ebenda S. 327.

[2]) Des Cartes, Oeuvres publiées par Ch. Adam et P. Tannery. Correspondance T. II, S. 352. Il faut sur tout considérer, que i'ay parlé de la Force qui sert pour lever vn poids a quelque hauteur, la quelle force a tousiours deux dimensions, et non de celle qui sert en chasque point pour le soutenir, laquelle n'a i'amais qu'vne dimension, en sorte que ces deux forces différentes autant l'vne de l'autre qu'vne superficie diffère d'vne ligne.

[3]) Ebenda S. 357: ie ne dis pas simplement que la force qui peut leuer vn poids de 50 liures à la hauteur de 4 pieds, en peut leuer vn de 200 liures à la hauteur d'vn pied, mais ie dis qu'elle le peut, si tant est qu'elle luy soit appliquée. ~~Or est-il~~ qu'il est impossible de l'y appliquer que par le moyen de quelque machine ou autre inuention qui face que ce poids ne se hausse que d'vn pied, pendant que cete force agira en toute la longueur de quatre pieds, & ainsy qui transforme le rectangle par lequel est representée la force qu'il faut pour leuer ce poids de 200 liures a la hauteur d'vn pied, en vn autre qui soit egal et semblable à celuy qui represente la force qu'il faut pour leuer vn poids de 50 liures à la hauteur de 4 pieds.

ein Gewicht von 50 Pfund auf eine Höhe von 4 Fuß heben kann, eines von 200 Pfund auf die Höhe eines Fußes zu bringen vermag, sondern ich sage, daß sie es imstande ist, wenn sie überhaupt an ihm angreift. Nun ist es unmöglich, daß sie anders angreifen könne, als mit Hilfe einer Maschine oder einer anderen Einrichtung, welche bewirkt, daß dieses Gewicht nur um einen Fuß aufsteigt, während die Kraft im ganzen über die Länge von 4 Fuß sich betätigt und also das Rechteck, durch welches die Kraft dargestellt wird, welche nötig ist, dies Gewicht von 200 Pfund auf die Höhe eines Fuß zu heben, in ein anderes jene Kraft gebendes zu verwandeln, welche man braucht, um ein Gewicht von 50 Pfund auf die Höhe von 4 Fuß zu erheben." Es entgeht indessen Des Cartes keineswegs, daß diese Kraft nicht durch das Produkt aus Gewicht in Geschwindigkeit, also durch das Moment Galileis gegeben ist. Vielmehr lesen wir in demselben Brief[1]): „Wenn ich die Betrachtung der Geschwindigkeit mit der des Weges hätte verbinden wollen, so hätte ich der Kraft drei Dimensionen anstatt ausschließlich zweier zuschreiben müssen."

Mit der Mechanik der flüssigen und gasförmigen Körper hat sich Des Cartes nicht beschäftigt; den kleinen hübschen Apparat, der, da er noch heute seinen Namen trägt, dies vermuten lassen möchte, den Kartesianischen Taucher, erwähnt er wenigstens in seinen Schriften mit keinem Worte. Wir haben gesehen, daß es nicht unmöglich ist, daß ihn bereits Ktesibios hergestellt hat. War das aber der Fall, dann ist er in der Folgezeit wohl in Vergessenheit geraten. Denn die Glaskügelchen, die 1646 Monconys in Florenz sah[2]), hatten eine ganz andere Bestimmung wie die war, welche der Erfindung des Alexandriners zugeschrieben wurde. Balthasar Monconys war 1611 in Lyon geboren, hatte sich dort als Arzt niedergelassen, hatte dann aber viele Reisen gemacht, die ihn sogar bis Ägypten führten, war dann nach Lyon zurückgekehrt, wo er 1665 starb. Auf seiner Reise nach Ägypten sah er in Italien geschlossene, mit Luft gefüllte, in einem Gefäß mit Wasser schwimmende Glaskügelchen, die bei Erwärmen des Wassers

[1]) Ebenda S. 354. Que si i'auois voulu ioindre la considération de la vitesse auec celle de l'espace, il m'eust esté necessaire d'attribuer trois dimensions à la force, au lieu que ie luy en ay attribué seulement deux, affin de l'exclure.

[2]) Monconys, Journal des voyages II. Partie. Lyon 1666, S. 130 ff. Burckhardt, Die Erfindung des Thermometers und seine Gestaltung im 17. Jahrhundert. Basel 1867, S. 34.

in diesem herabsanken. Solche Kügelchen sandte in der nämlichen Zeit der Großherzog Ferdinand II. von Toskana an den 1656 an der Pest verstorbenen Priester des Ordens von Santa Lucia della Chiavica, Magiotti, einen Schüler Galileis, um von ihm eine Erklärung des merkwürdigen Versuchs zu erhalten[1]). Bei dieser Gelegenheit beobachtete Magiotti, daß die Kügelchen sich ebenso verhielten, die in ein unten offenes Röhrenstück mündeten und sich in einem offenen oben mit enger Öffnung versehenen Gefäß befanden, wenn man dies Gefäß ganz mit Wasser füllte und mit dem oben auf die Öffnung gelegten Daumen einen Druck auf das Wasser ausübte. Daß auch dann die Kügelchen infolge des durch das in sie hineingepreßte Wasser verminderten Auftriebes herabsanken, teilte Magiotti in seiner 1648 erschienenen Schrift Renitenza certissima dell' acqua alle compressione[2]) mit. Wenn Monconys sie auf seiner Rückreise von Ägypten im Jahre 1647 gesehen haben will, so beruht dies wahrscheinlich auf einer falschen Datierung bei Herausgabe seines Werkes, wie Rebenstorff[3]) es wahrscheinlich gemacht hat. Auch an Kircher hatte der Großherzog dasselbe Ansinnen gestellt, auch er gab 1654 in der neuen Ausgabe seiner Ars magnetica die nämliche Erklärung wie Magiotti. Das Gefäß ist dann später in der jetzt noch üblichen Weise von Schott mit Leder oder Pergament verschlossen worden[4]).

Hat nun auch Des Cartes sich mit der Mechanik der Flüssigkeiten nicht beschäftigt, so hatte er genug damit zu tun, seine die festen Körper behandelnden Ansichten zu verteidigen. Er hat über sie manchen wissenschaftlichen Streit auszufechten gehabt, obwohl ihm derartige Fehden von Grund seines Herzens verhaßt waren. Er hielt sich von solchen deshalb möglichst zurück, freilich in einer Weise, die ihm den Vorwurf des Hochmutes eingebracht hat. So war es namentlich de Roberval, mit dem er in so ernste Meinungsverschiedenheiten über ein mechanisches Problem geriet, daß ihn dieser in einem Brief an Christian Huygens vom 4. August 1656 den »le plus jaloux«

---

[1]) Burckhardt, ebenda S. 35.

[2]) Abgedruckt in Tozzetti, Notizie degli Aggrandimenti della scienze fisiche accaduti in Toscana. Firenze 1780.

[3]) Rebenstorff, Altes und Neues vom kartesianischen Taucher. Natur und Kultur 1907, 5. Jahrg., S. 101.

[4]) Schott, Mechanica hydraulo-pneumatica. Herbipoli 1657, S. 292.

seiner Feinde nannte[1]). De Robervals eigentlicher Name war Giles Persone, von seinem Geburtsort nannte er sich aber de Roberval. Er war 1602 geboren und hatte in seiner Jugend, da er arm war, Kriegsdienste genommen. Nachdem er aber 1627 nach Paris gekommen und mit den dortigen Gelehrten, namentlich mit Mersenne, in nähere Berührung getreten war, gelang es ihm, seine mathematische Befähigung zur Geltung zu bringen, er wurde Professor der Mathematik am Collège royal in Paris, später Mitglied der neu gegründeten Akademie der Wissenschaften daselbst und starb 1675 in seiner neuen Heimat. In der Mathematik hat er Tüchtiges geleistet, geriet freilich auch in Streitigkeiten mit Torricelli, bei denen sein Auftreten nicht geeignet war, den sein Leben lang ihm anhaftenden Vorwurf der »rusticité« zu entkräften[2]). Der Streit mit Des Cartes drehte sich um das Agitationszentrum oder wie wir jetzt sagen würden, den Schwingungsmittelpunkt, und war durch eine von Mersenne gestellte Aufgabe hervorgerufen worden. Des Cartes gelang die Lösung für ebene Figuren, deren Schwingungsachse in die Ebene der Figur fällt, de Roberval für diese und für einige, deren Schwingungsebene senkrecht zu ihrer Ebene liegt. Beide hatten aber den Schwingungsmittelpunkt und den Mittelpunkt des Stoßes verwechselt, de Roberval deshalb namentlich für Körper anfechtbare Werte erhalten, und so blieb die endgültige Lösung Huygens vorbehalten[3]). De Robervals Traité de Méchanique schloß sich an seine Vorgänger an, das Werk war bereits 1634 verfaßt, erschien aber erst 1636 als ein Teil von Mersennes »Harmonie universelle«, ist aber, wie Duhem[4]) wahrscheinlich macht, nicht ohne Einfluß auf den Inhalt der drei letzten Tage von Galileis Discorsi gewesen. Wichtiger für unsere Darstellung sind de Robervals Arbeiten auf dem Gebiete der angewandten Mechanik — noch jetzt trägt die oberschalige Wage seinen Namen —, er hat ihre Erfindung 1670 bekannt gegeben[5]), indem er die Vertreter der Wissenschaft seiner

[1]) Huygens, Oeuvres complètes. Tome I. La Haye 1888, S. 474.

[2]) Ebenda Tome II, La Haye 1889, S. 287 u. 448.

[3]) Zu demselben Ergebnis kommt auch Zwerger, Der Schwingungsmittelpunkt zusammengesetzter Pendel. München 1889.

[4]) Duhem, Les Origines de la Statique. T. I. Paris 1905, S. 324.

[5]) De Roberval, Journal des Sçavans. Les années 1669 bis 1671. Nouvelle Edition. Paris 1728, S. 38.

Zeit aufforderte, das scheinbar Widersinnige bei ihrer Anwendung, daß zwei gleich schwere Körper sich im Gleichgewicht hielten, auch wenn sie nicht in gleichen Entfernungen vom Unterstützungspunkte des Wagebalkens aufgehängt wurden, zu erklären. Das scheinbar Widersinnige! Seine Wage bestand aus zwei horizontalen und zwei senkrechten Stangen, die die Seiten eines Parallelogramms bildeten und an dessen Eckpunkten mit Bolzen drehbar miteinander verbunden waren. Die horizontalen Stangen waren in der Mitte durchbohrt und dort mit Bolzen ebenfalls drehbar an der das Ganze haltenden Säule befestigt, die senkrechten aber trugen in der Mitte Querstäbe, welche mit ihnen starr verbunden waren. An ihnen wurden die Gewichte in der angegebenen Weise aufgehängt, aber die Schwierigkeit löste sich, da ja ihre Angriffspunkte die Befestigungspunkte der Querstäbe, die den Abstand von der durch die Unterstützungspunkte gehenden Senkrechten nicht änderten, und nicht die der Gewichte selbst waren. So zweckmäßig nun auch die Verwendung des Stangensystemes war, so war die Erklärung des Paradoxons doch so auf der Hand liegend, als daß es uns Bewunderung für sein tieferes Eindringen in mechanische Probleme abnötigen könnte. Dasselbe gilt von seinen Bestrebungen zur Herstellung einer Pendeluhr, in der ihn der viel jüngere Huygens, wie wir sehen werden, weit überflügelte. Glücklicher war er dagegen in der Erfindung des Gewichtsaräometers, dessen Zeichnung und Beschreibung mit dem Zusatz: »Donné par monsieur de Roberval« in einem von dem Kurfürsten Karl Ludwig von der Pfalz an Monconys gerichteten Brief vom 31. Mai 1664 enthalten ist[1]). Dieser benutzte auf seinen Reisen das Gewichtsaräometer, um überall, wohin er kam, das spezifische Gewicht des Wassers zu bestimmen und daraus auf dessen größere oder geringere Brauchbarkeit als Trinkwasser zu schließen. Den ersten derartigen Versuch stellte er 1663 in Travemünde mit einem solchen Apparate an, den er in London gesehen hatte. Er bestand aus einer zum Teil mit Quecksilber gefüllten, oben einen kegelförmigen Ansatz, unten eine Öse zur Aufnahme eines Häkchens tragenden Glaskugel, die durch Gewichte, die man an das Häkchen anhing, soweit beschwert wurde, daß sie bis zu der Stelle, wo der kegelförmige, in eine zugeblasene Spitze ausgezogene Ansatz sich von der Kugel erhob, in das Wasser eintauchte. Da der Apparat früher nirgends erwähnt wird, so wird man berechtigt

[1]) Journal des voyages de Monsieur Monconys. II. Partie. Lyon 1666, S. 27.

sein, seine Erfindung de Roberval zuzuschreiben[1]). Indem man aber die vorher gewogene Kugel dadurch zum Eintauchen bis zur Spitze des Kegels brachte, indem man ringförmige Gewichte um ihn legte, die in das Wasser eintauchten, so konnte er nicht die Gewichtsunterschiede genau gleicher Volumina Wasser geben, also zuverlässige Bestimmungen nicht liefern, und er ist erst zu allgemeiner Verwendung gelangt, nachdem er von Fahrenheit wesentlich verbessert worden war. In die von Juncker besorgte, 1697 erschienene deutsche Übersetzung des Monconysschen Reisewerkes ist der oben erwähnte Brief nicht aufgenommen, und so erklärt es sich, daß Sturm[2]) und auf seine Autorität Leupold[3]) die Erfindung des Gewichtsaräometers dem Lyoner Arzt zugeschrieben haben.

c) Des Des Cartes Ansichten und Beobachtungen über die Konstitution der Körper und den Magnetismus.

Des Cartes ging von der Aristotelischen Ansicht der unbegrenzten Teilbarkeit der Materie aus, er hielt einen leeren Raum für unmöglich, gleichwohl sollte seine Lehre eine Hauptstütze der Bestrebungen werden, die die Lehre des Epikuros wieder zu Ehren zu bringen gedachten. Denn da er unter Körpern nur das gleichzeitig Bewegte verstand, einer vorhandenen Bewegung aber eine ewige Dauer zuschrieb, so mußte er die Körperwelt als in fortwährender Bewegung begriffen ansehen. Dies aber konnte nur möglich sein, wenn stets ein zweiter Körper sogleich den Raum wieder einnahm, den ein anderer verlassen hatte, eine sich so ergebende ununterbrochene Reihe bewegter Körper war aber nur denkbar, wenn ihre Bewegung im Kreise erfolgte, d. h. wirbelförmig war. So wurde Des Cartes auf die Annahme seiner Wirbel geführt, die in neuester Zeit öfters wieder aufgenommen worden ist, so von Faye in der ersten Auflage seines Origine du Monde[4]),

[1]) Gerland, Bericht über den historischen Teil der internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in Teil I des Berichtes von Hofmann. Braunschweig 1878, S. 27.

[2]) Sturmius, Collegium experimentale sive curiosum. Pars II. Norimbergae 1685, S. 61.

[3]) Leupold, Theatrum staticum universalis. Pars II. Leipzig 1726, S. 201.

[4]) Paris 1884.

aber auch von Maxwell[1]), Lord Kelvin u. a. in den magnetischen Wirbeln, wenn auch in wesentlich schärfer präzisierter Form. Wenn demnach auch Des Cartes die Atome Demokrits verwarf, so mußte er doch die Körperwelt als aus Teilen bestehend annehmen, und eine Gattung dieser Teile war er gezwungen von so verschwindender Größe sich vorzustellen, daß der Unterschied vom Atom in der Tat wegfiel.

Aber auch hierbei war es für Des Cartes bestimmend, daß seine Lehre ein philosophisches System war. Wenn er auch der Erfahrung und Beobachtung eine entscheidende Stimme zuzusprechen durchaus geneigt war, so ergänzte er doch die Lücken seines Wissens ohne weiteres durch Annahmen, und dementsprechend begann er mit der Weltbildung. Wenn er nun auch die Ptolemaische und Tychonische Lehre vom Planetensystem als mit der Erfahrung nicht übereinstimmend verwarf, so glaubte er sich der Kopernikanischen Lehre von der Bewegung der Erde nicht anschließen zu können und suchte sie durch eine, wie er glaubte, einfachere zu ersetzen, nicht ohne immer wieder zu versichern, daß er sie nur für eine Hypothese, aber nicht für die Darstellung des wahren Sachverhalts gehalten wissen wollte[2]). „Ich möchte glauben," so legt er seine Ansicht dar[3]), „daß die ganze Materie des Himmels, in welcher die Planeten sich drehen, nach Art eines Wirbels, in dessen Mittelpunkt sich die Sonne befindet, ohne Unterlaß sich im Kreise bewegt, und daß ihre der Sonne näheren Teile sich rascher bewegen als die entfernteren, alle Planeten aber (zu deren Zahl die Erde gehört) zwischen eben diesen Teilen der Himmelsmaterie immer im Kreise herumgeführt werden." Diese Wirbel bewirken aber auch die Bewegungen der Monde[4]). „Und überdies mögen, wie ich oft bei Wasserwirbeln

---

[1]) Maxwell, Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus. Deutsch von Weinstein. 2. Bd. Berlin 1883, S. 565 ff.

[2]) Des Cartes, Principia Philosophiae. Amstelodami 1692. Pars III. § XIX, S. 53.

[3]) Ebenda § XXX, S. 58. Putemus totam materiam coeli in qua Planetae versantur, in modum cujusdam vorticis, in cujus centro est Sol, assiduè gyrare, ac ejus partes Soli viciniores celeriùs moveri quàm remotiores, Planetasque omnes (è quorum numero est Terra), inter easdem istius coelestis materiae partes semper versari.

[4]) Ebenda § XXXIII, S. 59. Ac praeterea ut saepe in aquarum vorticibus vidi contingere, in majori illo coelestis materiae vortice sint alii minores vortices, unus in cujus centro sit Jupiter, alter in cujus centro sit Terra, qui in easdem partes ac major vortex ferantur.

es habe beobachten können, in jenem größeren Wirbel der Himmelsmaterie andere kleinere auftreten, einer dessen Zentrum Jupiter, ein anderer, dessen Zentrum die Erde bildet, welche in dieselben Teile wie der große Wirbel sich bewegen"; . . . so daß in der nämlichen Zeit, in der die Erde und der Mond die gemeinsame Kreisbahn einmal durchlaufen, die Erde etwa 365 mal um ihren eigenen Mittelpunkt und der Mond sich etwa zwölfmal um die Erde bewegt[1])." So sind es also die Wirbel, die sich bewegen und die ruhenden Planeten mitführen, „wie ein weder vom Winde noch von den Rudern angetriebenes, noch am Anker befestigtes Schiff, das mitten im Meere ruht, obgleich vielleicht eine mächtige Wassermasse in unbemerkbarer Strömung forteilend, es mit sich führt[2])." Zu diesem Ergebnis glaubt sich Des Cartes berechtigt, da er im Gegensatz zu Kopernikus die Bewegung als eine Verschiebung eines Körpers im Vergleich zu den benachbarten ansieht[3]).

Die Annahme der Wirbel setzt aber die der Himmelsmaterie voraus, über die Des Cartes die folgende Voraussetzung macht[4]): „Ich nehme an, daß alle Materie, aus der die sichtbare Welt zusammengesetzt ist, im Anfange von Gott in nahezu gleiche Teile, die von mittlerer Größe oder von einer Größe waren, welche in der Mitte liegt zwischen der Größe der Teilchen aus denen nun die Himmel und der, aus denen die Gestirne bestehen, und daß allen ebensoviel Bewegung mitgeteilt worden sei, als jetzt in der Welt gefunden wird; und daß

---

[1]) Ebenda § XXXIII, S. 59. Ita ut eodem tempore quo Terra & Luna circulum communem semel peragrabunt, terra 365 vicibus circa proprium centrum, & Luna duodecies circa terram vertatur.

[2]) Ebenda § XXVI, S. 56. Ut navis, nullis ventis nec remis impulsa, nullisque anchoris alligata, in medio mari quiescit, etsi forte aquae ingens moles occulto cursu delabens, ipsam secum ferat.

[3]) Ebenda § XVIII, S. 53.

[4]) Ebenda § XLVI, S. 65. Supponemus omnem illam materiam, ex qua hic mundus aspectabilis est compositus, fuisse initio à Deo divisam in particulas quamproximè inter se aequales, et magnitudine mediocres, sive medias inter illas omnes, ex quibus jam coeli et astra componuntur, easque omnes tantumdem motus in se habuisse, quantum jam in mundo reperitur; & aequaliter fuisse motas, tum singulas circa propria sua centra, & separatim à se mutuò ita ut corpus fluidum componerent, quale coelum esse putamus; tum etiam plures simul, circa alia quaedam puncta aequè à se mutuò remota, & eodem modo disposita, ac jam sunt centra Fixarum; nec non etiam circa aliquantò plura, quae aequent numerum planetarum.

sie in gleicher Weise in Bewegung gesetzt worden seien, sowohl die einzelnen um ihre Mittelpunkte und wechselseitig voneinander gesondert, so daß sie einen flüssigen Körper bilden, als welchen wir uns den Himmel vorstellen, als auch mehrere zugleich um gleichmäßig von ihnen entfernte und auf dieselbe Art angeordnete Punkte, wie es die Mittelpunkte der Fixsterne sind; wohl aber gewiß noch viel mehr, welche die Zahl der Planeten füllen." Diese Teilchen haben nun bei ihrer Erschaffung die Kugelform erhalten, es müßten also zwischen ihnen leere Räume entstehen, auch wenn sie so nahe wie möglich aneinander gelegt werden. Da aber der Philosoph die Möglichkeit des leeren Raumes leugnet, so muß er für Materie sorgen, die diesen Raum ausfüllt, diese bilden die kleinsten Splitterchen, welche bei der Drehung jener Kügelchen infolge ihrer Berührung abgerieben wurden[1]). So ergeben sich drei Arten Materie[2]). „Die erste ist die Grundlage dessen, was eine so große Bewegungskraft besitzt, daß es bei der Begegnung mit anderen Körpern in unbestimmbar kleine Teilchen zerlegt wird und seine Formen so gestaltet, daß sie zur Ausfüllung der von jenen frei gelassenen Winkelräume geeignet wird. Die zweite liegt allem dem zugrunde, was in kugelförmige im Vergleich zu den durch das Auge wahrzunehmenden Körpern sehr kleine Teilchen geteilt erscheint; sie besitzen aber eine bestimmte Größe und können in viel kleinere Teilchen zerlegt werden. Die dritte finden wir sodann aus viel umfangreicheren Teilchen bestehend, deren Form aber für die Bewegung weniger passend erscheint. Aus diesen drei Elementen bestehen, wie wir zeigen werden, alle Körper dieser sichtbaren Welt: nämlich die Sonne und die Fixsterne aus dem

---

[1]) Ebenda § XLIX, S. 66.

[2]) Ebenda § LII, S. 67. Primum est (elementum) illius, quae tantam vim habet agitationis, ut aliis corporibus occurrendo, in minutias indefinitae parvitatis dividatur, & figuras suas ad omnes angulorum ab iis relictorum angustias implendas accommodet. Alterum est ejus, quae divisa est in particulas sphaericas valde quidem minutas, si cum iis corporibus, quae oculis cernere possumus, comparentur; sed tamen certae ac determinatae quantitatis, & divisibiles in alias multò minores. Tertiumque paulò post inveniemus, constans partibus vel magis craßis, vel figuras minùs ad motum aptas habentibus. Et ex his tribus omnia hujus mundi adspectabilis corpora componi ostendemus: nempe Solem & Stellas Fixas ex primo, Coelos ex secundo, & Terram cum Planetis & Cometis ex tertio. Cùm enim Sol & Fixae lumen ex se emittant: Coeli illud transmittant; Terra, Planetae, ac Cometae remittant: triplicem hanc differentiam, in adspectum incurrentem, normalè ad tria elementa referemus.

ersten, die Himmel aus dem zweiten, die Erde mit den Planeten und den Kometen aus dem dritten. Denn während die Sonne und die Fixsterne Licht aussenden, so pflanzen die Himmel es fort, und die Erde, die Planeten und die Kometen strahlen es zurück; diesen sich der Untersuchung aufdrängenden dreifachen Unterschied beziehen wir nicht mit Unrecht auf die drei Elemente."

Aus der Annahme der Wirbel und der drei Elemente, zu deren Schilderung am besten des Philosophen eigene Worte zu benutzen schienen, erklärt nun Des Cartes die damals bekannten Tatsachen der Astronomie, Physik und Chemie. Daß diese Erklärungen nicht selten gezwungen und willkürlich genug ausfallen mußten, daß sich von ihnen wohl keine in der Folgezeit hat behaupten können, kann nicht überraschen. Gleichwohl muß die geschichtliche Darstellung auf sie eingehen, einmal, weil es bei oberflächlicher Betrachtung den Anschein hat, als hätten nicht wenige nur präziser gefaßt werden müssen, um Ergebnisse der neueren Wissenschaft zu liefern, zum andern aber, weil sie zu Zeiten ihres Schöpfers eine tiefgehende, den Weg der Forschung weisende Wirkung auf die Zeitgenossen ausübten, die freilich bald genug in fast leidenschaftliche Bekämpfung übergehen sollte.

Da waren es nun zunächst die im Vergleich zu denen des zweiten sehr kleinen Teilchen des ersten Elementes, die infolge ihrer Entstehungsart die verschiedensten Formen annehmen mußten. Da sie aber viele Lücken aufweisen mußten, so konnten sie leicht aneinander haften und so zu Körpern, den Fixsternen, sich zusammenballen[1]), aber sie konnten dies auch in der Umgebung der Sonne tun und so zu den Sonnenflecken Veranlassung geben. Sie müssen bei ihrer Bewegung sich durch die Zwischenräume der zweiten Elemente hindurchzwängen, und da diese im allgemeinen dreieckige Form haben, so werden die größeren von ihnen zu kleinen Säulchen mit drei rinnenartigen Vertiefungen nach Art der bei Schneckenhäusern beobachteten[2]). Während nun die größeren Teilchen des zweiten Elementes in dem Wirbel, in dem sie sich befinden, beharren, gehen die des ersten fortwährend aus dem einen in andere über. Die Achsen der Wirbel haben nämlich die verschiedensten Lagen, und somit auch ihre Pole und ihren Äquator. In dem letzteren haben aber die Teilchen wegen der großen Zentrifugalkraft das Bestreben,

[1]) Ebenda Pars III, § LIV, S. 69.

[2]) Ebenda P. III, § XC, S. 97.

sich aus dem Wirbel zu entfernen; treffen sie nun auf viel weniger heftig bewegte Teilchen am Pol eines anderen Wirbels, so treten sie in diesen ein, und so gelangen sie von Wirbel zu Wirbel[1]). Dadurch tragen sie dazu bei, daß die Teilchen des zweiten Elementes in ihren Wirbeln bleiben, was natürlich auch für die des dritten Elementes gilt. Diese aber können sich auch auf der Oberfläche des Zentralkörpers des Wirbels zusammenballen, der sich dann mit einer festen undurchsichtigen Rinde mehr und mehr bedeckt und endlich ganz fest wird, indem die Teilchen des ersten sich in die des dritten Elementes verwandeln[2]). Dann nehmen die übrigen Teile benachbarte Wirbel auf, und indem sie sich ausbreiten, ziehen sie auch den festgewordenen Zentralkörper in sich hinein. Geschieht dies nur zu so geringer Tiefe, daß er wieder heraustreten kann, so bildet sich ein Komet, ist die Tiefe aber so groß, daß der Körper gezwungen wird, an dem Wirbel teilzunehmen, so entsteht ein Planet[3]). Die anziehenden Wirkungen der Himmelskörper aufeinander sind demnach lediglich Wirkungen der Zentrifugalkraft. Daraus muß natürlich Des Cartes folgern, daß die Dichtigkeit (soliditas) der der Sonne näheren Planeten kleiner als die der ferneren ist[4]).

Die Erde besteht nun aus drei Hüllen, ihr Inneres wird von Teilchen des ersten Elementes gebildet. Solche bilden auch die zweite, aber in ihr sind sie so ineinander verfilzt, daß wohl die kleinsten Teilchen des ersten Elementes, nicht aber die des zweiten und ebensowenig die Lichtstrahlen hindurchgehen können[5]). Bis zu ihnen ist deshalb auch noch kein Lebendiger gelangt. Die dritte Hülle aber besteht aus Teilchen des dritten Elementes, die aber viel Himmelsmaterie zwischen sich einschließen, und gelegentlich wieder in das erste und zweite Element übergehen können. Wenn sie auch viel größer sind als die kugelförmigen Teilchen des zweiten Elementes, so sind sie doch nicht so dicht, und da sie die verschiedensten Formen haben, von viel geringerer Beweglichkeit[6]). Durch ihre Zwischenräume kann dann recht wohl das Licht auch eindringen[7]), während die Wärme durch ihre raschen Be-

---

[1]) Ebenda P. III, § LXIX, S. 79.
[2]) Ebenda P. IV, § II, S. 137.
[3]) Ebenda P. III, § CXIX, S. 113 und § CXL, S. 130.
[4]) Ebenda P. III, § CXLVII und CXLVIII, S. 132.
[5]) Ebenda P. IV, § IV, S. 138.
[6]) Ebenda P. IV, § VIII, S. 139.
[7]) Ebenda P. IV, § XVII, S. 141.

wegungen erzeugt wird[1]). Indem nun die Kügelchen des zweiten Elementes sich nach allen Seiten hin bewegen, runden sie in ihnen schwebende Flüssigkeitsteilchen zu Kugeln ab[2]). Da jene Kügelchen sich aber ohne Unterschied überallhin bewegen, so drängen sie die Wassertropfen wie auch andere Körper zur Mitte hin „und darin besteht die Schwere der irdischen Körper[3])". Da sich nun die Erde wie ein ruhender Körper verhält und die Himmelsmaterie ihre Bewegung auf sie überträgt, so hat sie weder die Kraft der Schwere noch der Leichtigkeit. Da aber ihre geradlinige Bewegung durch die Begegnung mit der Erde gehemmt wird, so gehen sie von ihr, soweit sie können, weg, und darin beruht ihre Leichtigkeit. Diese Bewegungstendenz haben aber die Teilchen der Erde nicht[4]). „Und so wird die Schwere eines jeden irdischen Körpers nicht eigentlich von der ganzen ihn umfließenden Himmelsmaterie bewirkt, sondern genau von dem Teil davon, welcher, wenn der Körper herabsteigt, unmittelbar an seinen Ort sich hinbegibt." Hat also ein Körper weniger oder engere mit Himmelsmaterie erfüllte Poren als ein anderer, so wird er schwerer sein als dieser[5]).

Die Luft hält Des Cartes für eine Anhäufung von Teilchen des dritten Elementes, die so dünn und so voneinander abgesondert sind, daß sie jede Bewegung der Kügelchen der Himmelsmaterie zulassen[6]). Im Wasser aber sind zwei Arten von Teilchen enthalten, von denen die einen biegsam sind, die andern nicht. Jene können sich in aalartiger Weise um diese herumschlingen, sie dabei zu stärkerer Bewegung veranlassen und auf solche Art die der Schwere entgegenwirkenden Kapillarerscheinungen hervorrufen. Werden sie getrennt, so bleiben die unbiegsamen als Salz zurück, während die anderen das süße Wasser zusammensetzen. Hat demnach Des Cartes hierbei hauptsächlich das Meerwasser im Auge, so versäumt er auch nicht, eine Erklärung

[1]) Ebenda P. IV, § XXIX, S. 148.

[2]) Ebenda P. IV, § XIX, S. 143. Meteora, Cap. V, § II, S. 182.

[3]) Ebenda P. IV, § XX, S. 144: Atque in hoc gravitas corporum terrestrium consistit.

[4]) Ebenda P. IV, § XXIII, S. 144: Atque ita gravitas cujusque corporis terrestris non propriè efficitur ab omni materiâ coelesti illud circumfluente, sed praecise tantum ab eâ ipsius parte, quae, si corpus istud descendat, in ejus locum immediatè ascendit.

[5]) Ebenda P. IV, § XXIII, S. 145.

[6]) Ebenda P. IV, § XLV, S. 157.

[7]) Ebenda P. IV, § XLVIII, S. 158. Meteora, Cap. I, § III, S. 154.

der Gezeiten zu geben[1]). Soll die Himmelsmaterie, deren Wirbel den Mond und die Erde im Kreise herumtreibt, sich nicht schneller bewegen als beide, so muß der Mittelpunkt der Erde stets auf der vom Monde abgewandten Seite liegen; in der den Mond mit dem Erdmittelpunkt verbindenden Linie muß also auf beiden Seiten der Erde die genannte Materie auf einen kleineren Raum beschränkt sein, als auf der senkrecht darauf gezogenen Linie. Indem sie sich hier also schneller bewegen muß, übt sie einen stärkeren Druck auf das Meerwasser und die Luft aus, das Luftmeer nimmt eine ellipsoidische Form an, und dieselbe würde dem Wasser aufgeprägt werden, wenn es sich, wie Des Cartes der Einfachheit wegen annimmt, als gleichmäßige Schicht um die Erde ausbreitete. Nicht unter dem Mond, sondern in einer davon um 90° abstehenden Stelle wird also der Flutberg auftreten, eine Annahme, die auf Grund von Beobachtungen zurückzuweisen wegen der eigentümlichen Gezeitenverhältnisse im Atlantischen Ozean die damalige Zeit noch nicht imstande war. Aus der Annahme, daß der den Mond treibende Wirbel eine elliptische Form habe, folgert dann Des Cartes, daß Ebbe und Flut stärker seien zur Zeit des Vollmonds und des Neumondes als in den dazwischen liegenden Zeiten[2]), während die Neigung der Mondbahn zur Ekliptik Ursache sein soll für ihr mächtigeres Auftreten während der Äquinoktien[3]).

Auch die Natur der zu seiner Zeit angenommenen Elemente Sal, Sulfur und Merkurius ergibt sich aus der Gestalt der sie bildenden Teilchen. Das Sal läßt er aus länglichen, starren, wie Schwerter geschärften Teilchen bestehen und identifiziert es mit den scharfen und sauren Säften[4]), der Sulfur kommt überein mit der aus weichen und biegsamen verästelten Teilen bestehenden öligen Materie[5]), der Merkurius aber mit dem Quecksilber, dessen runde Teilchen vermöge ihres großen Gewichtes so fest aneinander liegen, daß keine Teile des zweiten, sondern nur des ersten Elementes in sie eindringen können[6]). Elastische Körper aber sind solche, die unzählige Gänge aufweisen, durch welche stets etwas Materie sich hindurchbewegt, da ein leerer Raum

[1]) Ebenda P. IV, § XLIX, S. 158.
[2]) Ebenda P. IV, § LI, S. 160.
[3]) Ebenda § LII, S. 160.
[4]) Ebenda § LXI, S. 163.
[5]) Ebenda § LXII, S. 163.
[6]) Ebenda § LVIII, S. 162, § LXII, S. 163.

ja nicht existiert. Sie können nun nicht gebogen werden, ohne daß die Form jener Gänge geändert wird; ist das geschehen, so suchen die Teilchen der bewegten Materie anstatt der für sie ungewohnten, die alten bequemen Gänge wieder herzustellen[1]).

Namentlich müssen deshalb die das Eisen bildenden Teilchen verästelter oder winkliger sein als die der anderen Metalle und deshalb fester aneinander haften[2]). In noch höherem Maße findet dies beim Stahl statt, der diesem Umstand seine noch größere Härte und Elastizität verdankt[3]). Die Teilchen nun, welche durch irgendwelche Ursachen ihre Lage des öfteren geändert haben, bilden das Eisen, diejenigen dagegen, welche viele Jahre unbewegt blieben, den Magneten, so daß es kein Eisen gibt, welches sich nicht in irgendeiner Art dem Magneten nähert, aber auch kein Magnet, welcher nicht etwas Eisen enthielte[4]).

Den Magneten hat er ausführlich behandelt und in 34 Punkten seine Eigenschaften dargelegt. Er beruft sich dabei auf Gilbert und gibt einen genauen Überblick darüber, was man zu seiner Zeit vom Magneten wußte. Da ist es denn hervorzuheben, daß er als 20. Punkt anführt, daß die Deklination, wie er die Abweichung der Nadel von der Nordsüdrichtung nennt, auch mit der Zeit sich ändern könne. Ihm kam es nun aber hauptsächlich auf die Erklärung aller dieser Tatsachen an. Er nimmt dazu die mit rinnenartigen Streifen versehenen Teilchen der ersten Materie zu Hilfe, die bei den Teilchen, welche vom Himmel dem Südpol zustreben, anders gedreht sind wie die, welche auf den Nordpol auftreffen. Im entgegengesetzten Sinne durchdringen beide die Erde, um ihren Rückweg durch die umgebende Luft zu nehmen, „weil die Gänge, durch welche sie von der einen Seite zur anderen gelangten, so beschaffen sind, daß sie durch sie den Rückweg nicht nehmen können[5])." Treffen sie dabei auf einen Magneten, so nehmen sie ihren Weg durch diesen und richten ihn vermöge der ihnen innewohnenden Kraft so, daß sich seine Pole, soweit es ihre Lage auf der Erde erlaubt, gegen die ungleichnamigen Erdpole richten[6]). So erklären sich auch die an-

---

[1]) Ebenda § CXXXII, S. 185.

[2]) Ebenda § CXXXVI, S. 187.

[3]) Ebenda § CXLI, S. 189.

[4]) Ebenda § CXXXIX, S. 189.

[5]) Ebenda § CXLVI, S. 194 u. 195. Quia meatus per quos ab una parte ad aliam venerant, sunt tales, ut per ipsos regredi non possint.

[6]) Ebenda § CL, S. 195, CLI, S. 196.

ziehenden oder abstoßenden Wirkungen zweier Magnete. Mit diesen theoretischen Erörterungen aber begnügt er sich nicht, der Philosoph macht dem Naturforscher Platz und die Frucht von des letzteren Bestrebungen ist die Darstellung der magnetischen Kraftlinien, deren Abbildung ihn in seiner Annahme der Bewegung der gerieften Teilchen der ersten Materie bestärkt. „Betrachtet man," sagt er[1]), „etwa genauer, auf welche Art Eisenfeilicht sich um den Magneten ordnet, so wird man dabei vieles beobachten, was das oben Gesagte bestätigt. Zuerst nämlich ist zu bemerken, daß sich dessen Körnchen nicht ohne Ordnung aufhäufen, sondern daß sie, indem sich die einen an die anderen anlagern, gleichsam eine Anzahl Röhrchen bilden, durch welche die gerieften Teilchen leichter als wie durch die Luft fließen, und welche somit deren Wege anzeigen. Damit diese Wege deutlich vor Augen geführt werden können, wird etwas jenes Feilichts auf eine Ebene gestreut, in welcher eine Öffnung zur Aufnahme des kugelförmigen Magneten sich befindet, der so hineingelegt wird, daß er auf beiden Seiten mit seinen Polen die Ebene berührt, in der Art, wie die Globen der Astronomen dem den Horizont darstellenden Kreis eingelassen werden, um eine aufrechte Sphäre zu erhalten; das darauf gestreute Feilicht ordnet sich dann in Röhrchen, welche die krummen Bahnen der gerieften Teilchen um den Magneten oder auch um die Erdkugel, wie wir sie oben beschrieben, darstellen. Wird dann ein anderer Magnet auf dieselbe Art neben den ersten in die Ebene eingesetzt, so daß der Südpol des einen dem Nordpol des anderen gegenüber steht, so zeigt das Feilicht auch, in welcher Art die gerieften Teilchen durch beide Magneten gleichsam wie durch einen einzigen gerichtet werden. Denn seine Röhrchen, welche von dem einen der einander zugekehrten Pole zum anderen sich erstrecken, werden völlig gerade sein, die übrigen aber, welche von dem einen der einander abgekehrten Pole zu dem anderen gehen, werden um den Magneten gebeugt sein." Auch die Form der von zwei gleichnamigen Polen hervorgerufenen „Röhrchen" beobachtete Des Cartes, wenn auch in einer weniger zweckmäßigen Weise, indem er unter einen mit Feilicht bedeckten Magnetpol einen gleichnamigen brachte und sah, wie die Feilichtteilchen sich von dem oberen Pole wegkrümmten. Brachte er aber eine Eisenplatte zwischen einen Magnetpol und eine von ihm beeinflußte Kompaßnadel, so bemerkte er, daß dieser Einfluß aufhörte,

---

[1]) Ebenda § CLXXIX. S. 207.

und dürfte dies die früheste Beobachtung der Schirmwirkung des Eisens sein. Seine magnetischen Kenntnisse benutzte er aber auch lediglich zur Festigung seiner Annahme über die Bewegung der gerieften Teilchen seiner ersten Materie.

d) Die Konstitution der Körper nach Gassendi.

Des Cartes hatte es vermieden, mit der von der Kirche allein anerkannten Scholastik seiner Zeit in Gegensatz zu kommen, hatte sich gleichwohl die Vorteile der Atomistik für sein System angeeignet. Das war freilich nur durch seine recht gezwungene Definition der Bewegung geschehen, die wiederum einen Teil seines Systemes bildete. Wer also dieses in seiner Gesamtheit nicht anerkannte und gleichwohl die Konstitution der Körper auf ihnen zugrunde liegende Atome zurückführen wollte, der mußte sich an die Lehren der Alten wenden. Dies tat Gassendi, indem er als Vorbild seiner Ansichten die des Epikuros wählte. Pierre Gassendi war 1592 in dem Flecken Chantersier bei Digne in der Provence geboren, 1608 bereits kam er als Lehrer der Rhetorik nach Digne, 1611 als Professor der Philosophie nach Aix. Sein Eintritt in den Minoritenorden verschaffte ihm bald Pfründen, die ihm ein sorgenfreies Leben gestatteten. 1645 wurde er als Lehrer der Mathematik an das Collège royal nach Paris berufen und blieb in diesem Amt, dessen Ausübung durch öftere Krankheiten sehr erschwert wurde, bis zu seinem Tode, der 1655 infolge übertriebenen Aderlassens, das ihn heilen sollte, erfolgte. Seine gesammelten, sechs starke Foliobände füllenden Werke wurden 1658 in Leiden herausgegeben.

Sie verbreiten sich über die verschiedensten Gebiete der Philosophie, Astronomie und Physik; als Hauptaufgabe seines Lebens betrachtete er die Erneuerung der Lehre des Epikuros, dessen Lebensbeschreibung und Ehrenrettung er schrieb, ehe er an jene größere Aufgabe ging. Da es in Paris durch Parlamentsbeschluß vom 4. September 1624 bei Todesstrafe verboten war, die Atomistik öffentlich zu lehren[1]), so war sein Unternehmen mit Gefahren verknüpft. Er aber wußte ihnen zu begegnen, indem er, wie Des Cartes, davon ausging, daß Gott die Ursache der Welt sei, und indem er durch sein gewinnendes, jeder Schärfe entbehrendes Wesen ernsteren gegen ihn gerichteten Angriffen vorbeugte.

---

[1]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Hamburg und Leipzig 1890, 1. Bd., S. 484.

Wenn nun auch Gott aus nichts etwas schaffen kann, so gilt doch sonst der Grundsatz, dem die alten Philosophen wohl ausnahmslos bereits huldigten[1]), allgemein, daß weder aus dem Nichts ein Etwas, noch daß aus dem Etwas nichts werden könne[2]). Es muß also von vornherein zur Erklärung des Daseins der Körper eine unveränderliche nicht mehr zerlegbare Materie vorausgesetzt werden, die aber, da die Körper teilbar sind, auch teilbar sein muß. Da sie aber nicht zu nichts werden kann, so muß die Teilbarkeit eine jenseits unserer Sinne liegende Grenze haben, sie muß aus unteilbaren kleinsten Teilchen aus Atomen bestehen, die in Übereinstimmung mit Epikuros von den mathematischen Punkten in der Weise unterschieden sind, daß sie eine beliebige Menge solcher Punkte enthalten. Sie sind durch leere Räume getrennt und unterscheiden sich nur durch Größe, Gestalt und Gewicht. Alle drei Eigenschaften können bei verschiedenen Atomen verschieden sein. So kann namentlich ihre verschiedene Form Ursache für das Auftreten verschiedener Körper werden; wie die verschiedenartige Zusammensetzung derselben Buchstaben immer andere Wörter entstehen läßt, so ist es nicht einerlei, ob z. B. Atome von Pyramidenform sich mit den Grundflächen oder mit den Spitzen zusammen legen. Auch steht nichts im Wege, wie dies schon die Atomiker des Altertums taten, die die festen Körper bildenden mit Spitzen und Häkchen, die ineinander greifen, versehen zu denken, die freilich nicht abbrechen können, da ja das Atom unveränderlich ist. Ihre Schwere aber ist nichts anderes als die ihnen von Gott eingepflanzte Kraft, sich durch sich selbst zu bewegen, und diese Bewegungen liegen allen physikalischen Tatsachen zugrunde, denn auch in den scheinbar in Ruhe verharrenden Körpern bewegen sich die Atome in ununterbrochener Weise, und nur dadurch, daß die Atome aufeinander stoßen, kann die Bewegung übertragen werden[3]). So wird auch, wenn die Atome in den Zustand der Ruhe übergehen, die sie bewegende Kraft nur gehemmt. Sie erhält ihre Freiheit wieder, sobald sie sich in Bewegung setzen.

Der Fall der Körper wird durch die Attraktion seitens der Erde bewirkt, die Gassendi auf mechanischem Wege durch materielle

---

[1]) Vgl. Haas, Die Entwicklungsgeschichte des Satzes von der Erhaltung der Kraft. Wien 1909, S. 4 ff.

[2]) Gassendi, Opera omnia. Vol. I, S. 204 b, 205 a. Vgl. Laßwitz, Geschichte der Atomistik, II. Bd. Hamburg und Leipzig 1890, S. 141.

[3]) Gassendi, Opera omnia. Vol. I, S. 303 b.

Ausströmungen wohl zu erklären versucht, ohne freilich damit zu einem ihn befriedigenden Ziel zu gelangen. Aus der Voraussetzung dieser Attraktion gelangt er aber dazu, in der von Benedetti bereits angedeuteten Weise die Beschleunigung zu erklären, „die in jedem der aufeinander folgenden sehr kleinen Zeitteile dem fallenden Körper einen Bewegungsanstoß einprägt und dadurch, da die früheren insgesamt beharren, die fortwährende Zunahme der Geschwindigkeit bedingt[1])". Gassendi legt also das Beharrungsvermögen seiner Überlegung zugrunde, und in der Tat hat er bereits vor Baliani sich dazu bekannt. „Ich halte für wahrscheinlich," schreibt er[2]) bereits 1640, „daß er (der aus seiner Ruhe aufgestörte Körper) sich gleichmäßig und ohne Aufhören bewegen würde, und zwar langsam oder schnell, je nachdem ihm einmal ein kleiner oder großer Kraftantrieb eingeprägt wurde."

Auch über die Wärme hat sich Gassendi ausgesprochen. Ihre Ursache sieht er ebenfalls in einer Bewegung, und zwar in einer sehr heftigen sehr kleiner, runder Atome, die nicht selbst warm sind, aber indem sie von den Körpern ausgestoßen werden, die Wärmeempfindung hervorrufen. Sie können ihren Weg durch die Poren der Körper nehmen und so Träger der Wärmeleitung werden. Recht willkürlich tritt daneben auch die Annahme von Kälteatomen, die tetraedrische Form haben und größer als die Wärmeatome sind. Flüssige Körper wiederum sind solche, zwischen denen sich leere Räume befinden, so daß sie sich nur um die Berührungspunkte ihrer Oberflächen drehen können. Aus der Wiederholung von Stößen sucht Gassendi endlich die Elastizität zu erklären.

Daß Gassendi des Des Cartes Anschauungen nicht anerkennen konnte, liegt auf der Hand[3]). In der Tat hat er auch bereits im Jahre 1642 diese in einer Disquisitiones Anticartesianae betitelten Schrift einer eingehenden Kritik unterworfen, und es bildeten sich in Paris zwei sich heftig bekämpfende Parteien, die der einen oder der

---

[1]) Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes. Zeitschrift für Völkerpsychologie 1884, Bd. XV, S. 357.

[2]) Gassendi, De motu impresso a motore translato. Parisiis 1642. Nach der Übersetzung von Wohlwill a. a. O., S. 355.

[3]) Über den Gegensatz von Gassendi und Cartesius vgl. auch Duhem, Ziel und Struktur der physikalischen Theorien. Deutsch von Adler, Leipzig 1908, S. 11 ff.

anderen Lehre anhingen, die Gassendisten und die Cartesianer. Die durch beide vertretenen Lehren aber waren wiederum den heftigsten Angriffen der Scholastiker ausgesetzt, und namentlich war es der Professor der Mathematik am Collège royal in Paris Jean Baptiste Morin (1583 bis 1656), der sie in mehreren Schriften in nicht gerade würdiger Weise angriff und seinen nicht geringen Einfluß aufbot, um seine Gegner zu schädigen. Gassendi hatte es dadurch mit ihm verdorben, daß er ihn als einen, freilich nicht gerade zu fürchtenden Gegner des Kopernikanischen Weltsystems, der namentlich auch die von Gassendi verteidigte Lehre Galileis vom Falle der Körper angriff, in seiner 1640 erschienenen Schrift: De motu impresso a motore translato hingestellt hatte. Auf Morins Entgegnungen zu antworten überließ er seinem Freund und Schüler Franz Bernier, während er sich selbst damit begnügte, zur Widerlegung von Morins Angriffen auf die Ergebnisse der Fallversuche auf einem in Bewegung befindlichen Schiffe, die er ebenfalls 1640 angestellt hatte, hinzuweisen.

Es handelte sich dabei um die Untersuchung der Frage, ob ein Stein, der von der Westseite eines Turmes herabgeworfen werde, sich von ihm entferne, eine Folgerung, die die Gegner der Kopernikus und Galilei, unter ihnen Morin, aus deren Lehren ziehen zu müssen glaubten. Die Versuche ergaben, daß ein vom Maste eines fahrenden Schiffes fallen gelassener Stein dem Maste parallel sich auf das Schiff herabbewegte[1]), und dieser Versuch sowie die Erfahrung, daß ein von einem Reiter emporgeworfener Gegenstand stets in dessen Hand wieder zurückfalle, galten ihm als ein Beweis für das Vorhandensein der Vis impressa. Zur Annahme der Lehre des Kopernikus konnte er sich freilich nicht entschließen. Er gestand zwar ein, daß sie durch die triftigsten Gründe gestützt sei, aber er hielt dafür, daß sie der Heiligen Schrift widerstreite. Das bewog ihn, das Tychonische Weltsystem anzunehmen[2]). Auch mit den Erscheinungen des Schalles und des Lichtes hat sich Gassendi beschäftigt. Kam er hinsichtlich des ersteren kaum über Mersenne hinaus[3]), so folgerte er doch aus dessen Versuchen, daß die Schallgeschwindigkeit von der Windrichtung unabhängig sei. Die Ursache des Lichtes aber erblickte er in

---

[1]) Gassendi, Opera omnia. Vol. III, S. 473.

[2]) Gassendi, Opera omnia. Tom. I, S. 536 a.

[3]) Ebenda Tom. I, S. 363.

dem Ausströmen von sehr feinen Körperchen, von Atomen, aus den leuchtenden Körpern, obwohl er überzeugt war, daß man nicht diese, sondern die sie aussendenden Körper sähe[1]). Damit näherte er sich, wie wir sehen werden, den Anschauungen des Des Cartes.

e) Die Atomistik bei den Medizinern und Chemikern. Van Helmont und Boyle.

Mit Gassendi hatte der Einfluß der Bestrebungen, die auf philosophische Arbeits- und Denkweise gestützt, physikalische Aufgaben stellen und lösen wollten, für die Geschichte der Physik ein Ende. Von um so größerer Bedeutung waren sie für die Philosophie geworden, da die Arbeiten von Digby (1603 bis 1665) und von Hobbes (1588 bis 1679), dann aber auch das System Spinozas von ihnen ihren Ausgang nahmen. Wenn auch der letztgenannte seinen Lebensunterhalt mit dem Schleifen optischer Gläser erwarb, in welcher Kunst er es zu großer Geschicklichkeit gebracht hatte, so ist das für die Geschichte der Physik völlig belanglos gewesen. An die Stelle der Philosophen aber traten nun hauptsächlich Mediziner, die mehr oder weniger im Anschluß an Paracelsus den Kampf gegen des Aristoteles Lehre aufnahmen und mit Glück weiter führten.

Die Männer, die diesen Fortschritt einleiteten, gehörten freilich nicht der medizinischen Fakultät an. David van Goorle (Gorlaeus, geb. 1592, gest. vor 1620) war vielmehr Theologe, Jean d'Espagnet (um 1600) Präsident des Parlamentes in Bordeaux. Wenn auch beide die vier Elemente des Stagiriten auf zwei, nämlich Wasser und Erde, zurückführten, so betonten sie doch die Unwandelbarkeit der Elemente[2]), und so war van Goorle der erste, welcher die Verwandlung von Wasser in Luft für unmöglich erklärte[3]). Wenn er nun auch die Körper als aus unteilbaren Atomen bestehend annahm und auf deren Mischung und Entmischung die Änderungen der Körper zurückführte, so gelangte er doch nicht zu einer rein mechanischen Auffassung der Zusammensetzung der Körper, da er auf die Annahme von Qualitäten nicht verzichtete[4]). D'Espagnets Ansichten beruhten aber

[1]) Ebenda Tom. I, S. 371.

[2]) D'Espagnet, Enchiridion physicae. Genevae 1653. S. 127.

[3]) Gorlaeus, Exercititationes Philosophiae. Lugduno-Batavorum 1620, S. 127, 255 ff.

[4]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Hamburg und Leipzig 1890, Bd. I, S. 462.

wohl zu sehr auf denen von van Goorle, vielleicht auch auf denen van Helmonts, als daß von ihm mehr zu erwarten gewesen wäre[1]).

Johann Baptista van Helmont aus dem Geschlechte der Grafen zu Merode, war 1577 zu Brüssel geboren, hatte in Löwen studiert, und dort auch kurze Zeit Vorlesungen über chirurgische Gegenstände gehalten. 1594 hatte er sich von dieser Tätigkeit zurückgezogen und hatte, nachdem er mehrere Reisen gemacht hatte, in Vilvorden bis zu seinem 1644 erfolgten Tode seiner ärztlichen Praxis und seinen wissenschaftlichen Studien obgelegen. Seine Schriften, in denen er deren Ergebnisse niedergelgt hatte, gab 1648 sein Sohn unter dem Titel »Ortus medicinae« heraus, 1685 erschien ihre deutsche Übersetzung als „Aufgang der Artzneykunst[2])." Auch er verwirft die vier Aristotelischen Elemente. „Und kann ich demnach nicht zugeben," sagt er[3]), „daß GOTT vier Elementen erschaffen, weil von der Schöpfung des Feuers, als des Vierdten nicht zu finden. Und ist folglich ein leeres Vorgeben, daß das Feuer materialischer Weise mit darzu komme, wenn die Cörper gemischet werden". Und weiter[4]): „Warumb ich aber die Erde nicht unter die ursprünglichen Elementen rechne, ob solche gleich im Anfange sobald mit geschaffen worden, ist dieses die Ursache, daß sich dieselbe endlich in Wasser verwandeln und ihres Wesens gantz berauben läßt." So nimmt auch van Helmont nur zwei Elemente an, aber nach seiner Ansicht sind es Wasser und Luft, die er für unwandelbar und unzerstörbar erklärt und von denen keines in das andere übergeführt werden kann. Geht also Wasser in Gas über, so ist dieses etwas anderes wie Luft, doch faßt er die letztere und jenes Gas unter dem gemeinsamen Begriff Dunst (halitus) zusammen. Auch glaubt er, daß „alle Erd-Gewächse unmittelbarer Weise ihrer Materie nach bloß allein aus dem Element des Wassers herfür kommen[5])". Die drei

---

[1]) Ebenda Bd. I, S. 339.

[2]) Nach Strunz, Johann Baptist van Helmont. Leipzig und Wien 1907. S. 5 ist der älteste Druck der van Helmontschen Schriften in holländischer Sprache unter dem Titel Dageraad of de nieuwe Opkomst der Geneeskonst 1615 in Leiden erschienen, wovon freilich weder Poggendorff noch Zopp noch Laßwitz etwas wissen. Auch Ehrenfeld (Grundriß einer Entwicklungsgeschichte der chemischen Atomistik, Heidelberg 1906) erwähnt die holländische Ausgabe nicht.

[3]) van Helmont, Aufgang der Artzneykunst, S. 55.

[4]) Ebenda S. 67.

[5]) Ebenda S. 148.

Elemente, die Paracelsus angenommen hatte, verwirft er freilich nicht vollständig, schreibt ihnen aber nur eine untergeordnete Bedeutung zu, da sie sich seiner Ansicht nach erst bei der Zersetzung anderer Körper bilden. Seine umfassenden chemischen Kenntnisse sind derartige, daß sie auch jetzt noch unser Staunen erregen und namentlich waren ihm die Kohlensäure, aber auch andere Gase bereits bekannt[1]). Um sie zu bezeichnen, hat er zuerst das Wort „Gas" angewendet, das wohl nicht von einem Worte „Gahst", was Geist bedeuten soll, sondern von „Chaos"[2]) hergenommen ist, mit welchem Worte Paracelsus das vierte luftartige Element bezeichnet[3]). Danach bildete van Helmont das Wort „Gas". Daß er sich bei seinen Untersuchungen bereits des Thermometers bediente, ist bereits berichtet worden.

Unabhängig von van Helmont, jedenfalls ehe dessen Schriften allgemeiner bekannt wurden, hatte bereits 1635 Sennert die Konstitution der Körper auf atomistische Weise erklärt. Daniel Sennert war 1572 in Breslau geboren, war in Wittenberg promoviert und dort 1602 Professor der Medizin geworden, welches Amt er bis zu seinem 1637 an der Pest erfolgten Tode inne hatte. Wenn die Geschichte der Medizin es ihm zum Ruhme anzurechnen hat, daß er als der erste darauf drang, die Chemie in das Studium der Medizin einzuführen, so hat ihn die der Chemie und der Physik als Neubegründer der Korpuskulartheorie zu verehren. Langsam freilich hat er sich zu seinen Anschauungen durchgerungen und sie zuerst in seinem 1635 in Frankfurt a. M. erschienenen Werke »Hypomnemata physica de rerum naturalium principiis« (Physikalische Erklärung der Grundlagen der Naturgegenstände) niedergelegt. Wenn er auch im Beginne seiner Arbeiten die Aristotelischen Elemente festhielt, so hatte er ihnen doch schon in seiner 1619 erschienen Schrift: »De chymicorum cum Galenicis et Peripateticis consensu ac dissensu (Über die Übereinstimmung und den Widerstreit der Chemiker mit den Anhängern Galens und den Peripatetikern) eine solche Deutung gegeben, daß Laßwitz[4]) nicht

---

[1]) Kopp, Geschichte der Chemie, Bd. I. Braunschweig 1843, S. 121 ff.

[2]) Strunz, Joh. Bapt. van Helmont. Leipzig und Wien 1907, S. 30.

[3]) E. O. v. Lippmann, Zur Geschichte des Namens „Gas". Chemiker-Zeitung 1910, Jahrg. 34, S. 1.

[4]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Hamburg und Leipzig 1890, Bd. I, S. 441.

ansteht, von dem Abfassungsjahre der letztgenannten Schrift die Erneuerung der physikalischen Atomistik zu datieren.

Alles dieses setzt Sennert in den Hypomnemata in mehr durchgebildeter Weise auseinander. Er zeigt, daß die zusammengesetzten Körper aus einfachen bestehen müssen, die nicht als mathematische Minima, sondern als natürliche, nämlich als unteilbare Atome aufzufassen seien. Solcher gibt es nun nach Maßgabe der Aristotelischen Elemente vier Arten, deren Formen ungeändert bleiben. Die Form aber wird durch ihre Materie vollkommen ausgefüllt, sie richtet sich also nach deren Ausdehnung. Außer diesen gibt es aber auch noch eine Art von Atomen, die prima mixta, die zuerst gemischten, das sind die, in welche die zusammengesetzten Körper bei ihrer Zerteilung zerfallen. Diese haben demnach Ähnlichkeit mit den kleinsten Körperteilchen, welche die gegenwärtige Chemie Molekeln nennt. Die Veränderungen der Körper aber entstehen, wenn sich Atome eines fremden Körpers an seiner Zusammensetzung beteiligen. Die Aggregatzustände wiederum unterscheiden sich dadurch voneinander, daß bei ihnen die Atome sich voneinander entfernt haben oder wieder zusammengetreten sind. Auf diese Art kann sich eben kein neuer Körper bilden. Wenn also Wasser verdampft, so kann es sich nicht in Luft, sondern nur in ihm eigentümliche Dämpfe verwandeln. So kam er zu denselben Vorstellungen wie van Helmont, und diese mußten ebensowohl der Chemie wie der Physik zugute kommen.

Konsequenter noch als Sennert führte der französische Arzt Sebastian Basso, dessen Schriften Des Cartes nicht unbekannt waren, die atomistischen Vorstellungen aus. Über seine Lebensverhältnisse wissen wir nur, daß er in Pont-à-Mousson studiert hat, seine 1621 in Genf erschienene Schrift trägt den Titel Philosophia naturalis adversus Aristotelem libri XII. War ihm auch van Goorle in der Aufstellung des Unterschiedes zwischen Luft und Wasserdampf zuvorgekommen, so trat er doch noch entschiedener der Aristotelischen Ansicht von der Materie entgegen, indem er sie sich als aus kleinsten, von Gott geschaffenen Teilchen von unveränderlicher aber verschiedener Natur vorstellte. Freilich tritt es nicht immer deutlich bei ihm hervor, ob er die vier Elemente als diesen kleinsten Teilchen entsprechend annimmt, oder ob er sie aus noch kleineren Teilchen, eben den Atomen, zusammengesetzt betrachtet. Für die letztere Annahme spricht allerdings seine Erklärung der Mannigfaltigkeit der Naturkörper aus der

Verschiedenheit der Natur der sie zusammensetzenden Atome. So beruht denn auch seine Ansicht von der Wärme auf der Vorstellung der sich zu Molekülen verbindenden Atome, da er die warmen Teilchen von den kalten umhüllt sich vorstellt und diese Mischung für um so beständiger erklärt, je vollständiger diese Umhüllung eingetreten ist. Aus dem so angenommenen Wärmestoff glaubt er dann auch die Verdampfung des Wassers dadurch erklären zu können, daß die in das Wasser eindringenden Feuerteilchen die Wasserteilchen auseinander treiben. Einen Unterschied zwischen der Veränderung der Körper infolge verschiedener Gruppierung der Atome in den Molekülen und der gegenseitigen Lage der letzteren macht er noch nicht. Als Ursache der durch die Bewegung der Atome bedingten Veränderungen sieht Basso einen äußerst feinen, aber immer noch körperlichen Stoff an, den er aber wie die Flüssigkeit als ein Kontinuum auffaßt, wenn er sich auch nicht mit voller Deutlichkeit darüber ausspricht. Er nennt ihn den Spiritus, doch dürfte er mit dem Äther der Stoiker übereinkommen, wie er ihn denn sowohl als Vakuum, als auch als Weltseele auffaßt[1]). So leiten denn Bassos Anschauungen auf die Galileischen hin, wonach, wie bereits dargestellt worden ist, die Eigenschaften der Körper auf Bewegungsvorgänge zurückzuführen sind. Die Erklärung des Verdampfens des Wassers, des Schmelzen der Metalle, wie sie Basso gibt, finden wir ebenso bei Galilei wieder.

Trotzdem der Professor am Hamburger akademischen Gymnasium, Joachim Jungius (1587 bis 1657), selbständig zu ähnlichen Ansichten wie Sennert und Basso bereits vor 1622 gekommen zu sein scheint, so würde er doch nicht als Förderer der Korpuskulartheorie hier zu erwähnen sein, da seine erste Veröffentlichung darüber die 1642 in Hamburg unter dem Titel Disputatio I et II de principiis corporum naturalium (Erste und zweite Disputation über die Grundlagen der Naturkörper) veröffentlichte Schrift den Einfluß der beiden genannten deutlich erkennen läßt[2]). Da wir aber wissen, daß Boyle Jungius Schriften bekannt waren; so dürfen wir annehmen, daß sie für die Aufstellung der Lehre des berühmten Engländers nicht ohne Bedeutung geblieben sind[3]).

---

[1]) Laßwitz a. a. O., Bd. I, S. 467 ff.

[2]) E. Wohlwill, Jungius und die Erneuerung atomistischer Lehren. Hamburg 1887.

[3]) E. Wohlwill, ebenda S. 30.

Robert Boyle war 1627 zu Lismoce Castle in der Grafschaft Munster als siebter Sohn und vierzehntes Kind des Grafen von Cork, Richard Boyle, geboren, hatte in Eton seine Studien gemacht, dann Frankreich, die Schweiz und Italien bereist. In dieser Zeit war sein Vater gestorben und hatte ihm außer einigen Gütern in Irland auch sein Gut Stalbridge hinterlassen. 1644 kehrte Robert nach England zurück, lebte bis 1654 auf seinen Besitzungen, zog dann nach Oxford und 1668 nach London, wo er mit einer älteren Schwester zusammenlebte, da er unverheiratet blieb. Er starb einige Tage nach deren Tode 1691, nachdem er die letzte Zeit seines Lebens in größter Zurückgezogenheit verbracht hatte. Auch mit theologischen Studien hat er sich befaßt und war wohl bewandert in den orientalischen Sprachen. Auch war er mehrere Jahre hindurch einer der Direktoren der ostindischen Kompagnie. Er war ein äußerst fruchtbarer Schriftsteller, der seine Abhandlungen zum Teil in besonderen Drucken, zum Teil in den während seiner Lebzeit gegründeten Philosophical Transactions der Londoner Königlichen Gesellschaft in englischer Sprache veröffentlichte. Die erste vollständige Ausgabe seiner Schriften, die zum Teil auch in das Lateinische übersetzt worden sind, verdankt man Birch, der sie 1744 erscheinen ließ, nachdem 1725 eine abgekürzte von Shaw besorgte herausgekommen war.

Wie Des Cartes weist Boyle Gott die Rolle des ersten Urhebers der Bewegungen in der Materie zu. Diese Bewegungen aber müssen Unterschiede in ihren Teilen bedingen, die sich durch ihre Größe, ihre Gestalt und eben durch ihre Bewegung unterscheiden müssen. Die große Menge verschiedener Eigenschaften aber, unter denen sich die Körper unseren Sinnen darstellen, ist nur durch ihre Zusammensetzung aus kleinsten Teilchen zu erklären, denen diese Eigenschaften zukommen, nämlich den Korpuskulen. Durch ihre Aneinanderlagerung entstehen die Verbindungen, die durch ihre gegenseitige Anziehung zusammengehalten werden und demnach nur getrennt werden können, wenn diese überwunden wird. Das kann aber nur geschehen, wenn die kleinsten Teilchen eines dritten Stoffes eine größere Anziehung zu einem Bestandteile der Verbindung haben, als der andere, und somit mit der Zersetzung der einen eine neue Verbindung vor sich geht. Dabei sollte man freilich annehmen, daß die Eigenschaften der Verbindungen sich aus denen ihrer Bestandteile zusammensetzen müßten. Daß das nicht der Fall ist, übersieht er keineswegs, kommt aber über eine Verwunderung

darüber nicht hinaus. So kommt er zu einer Erklärung der chemischen Vorgänge, die der modernen nahe genug steht, und damit gingen seine Kenntnisse von solchen weit über die hinaus, über welche seine Zeitgenossen verfügten. Doch konnte er diese nicht ohne Anstellung und richtige Deutung zahlreicher Versuche erhalten; sie sind es dann namentlich gewesen, welche der experimentellen Methode der Naturwissenschaften zum Siege über die scholastische verhalfen. Sie beschränkten sich nicht nur auf die Zerlegung von Verbindungen, sondern zeigten auch wie man sie aus ihren Bestandteilen erhalten kann. Er war es denn auch, der die Aristotelische Antiperistasis mit Erfolg bekämpfte und wenigstens die exakten Naturwissenschaften davon befreite[1]). Konnte er doch die beim Löschen des Kalkes auftretende Wärme, die Ergebnisse gleichzeitiger Temperaturbeobachtungen in Kellern und in freier Luft damit nicht in Übereinstimmung bringen. Vollständig hat er sich freilich noch nicht davon frei machen können, so wenn er als spezifisches Heilmittel gegen den Skorpionstich den zerriebenen Körper des giftigen Tieres anerkennt[2]). Ebensowenig war er immer in der Deutung seiner Versuchsergebnisse glücklich. Obgleich er beobachtete, daß die Metallkalke, wenn auch spezifisch leichter, doch absolut schwerer waren als die Metalle, aus denen sie sich gebildet hatten, so erkannte er doch nicht die Rolle, welche bei ihrer Entstehung der Luft zukam. Er schrieb vielmehr diese Gewichtszunahme dem Zutritt eines wägbaren Wärmestoffes zu und wurde dadurch der Urheber einer Richtung, welche für die Entwicklung der Chemie so verhängnisvoll werden sollte. Die Farben der Körper aber erklärte er aus den Unregelmäßigkeiten in Gestalt und Anordnung der Teilchen ihrer Oberflächen, aus ihrer gegenseitigen Lage und ihrer Lage gegen das Licht und das Auge[3]).

Die chemischen Vorgänge erklärt er auf mechanische Weise, der Begriff einer Verwandtschaft einzelner Stoffe liegt ihm fern. Er denkt sich nach dem Vorgange des Des Cartes die Körper mit Poren versehen, in welche von anderen ausgehende Effluvien einzudringen vermögen[4]). Bis zu welcher Kleinheit aber die Effluvien herabgehen, beweist die ungemein feine Verteilung in die man die edlen Metalle

---

[1]) Boyle, The mechanical origin of heat and Cold. London 1665.

[2]) Boyle, De specificorum remediorum cum corpusculari philosophia concordia. Genevae 1687. S. 2.

[3]) Boyle, Experiments and observations upon colours. London 1663.

[4]) Boyle, Tentamen porologicum. Genevae 1686.

infolge ihrer Dehnbarkeit bringen kann, beweist die überaus geringe Menge gewisser Substanzen, die in Wasser gebracht, dieses noch zu färben imstande sind, beweisen die in den meisten Fällen durch Wägen nicht zu bestimmenden Stoffmengen, die von gewissen Körpern, dem Geruch erkennbar für längere Zeit, ausgegeben werden können. Auch in dem Umstand, daß der Magnetstein durch Glas hindurch auf die Magnetnadel wirkt, sieht Boyle eine Wirkung der Effluvien Die Wärme aber erklärte er als eine sehr rasche und heftige Bewegung der Körperteilchen, die nach den verschiedensten Richtungen erfolge[1]).

Während er sich die Flüssigkeiten und die Luft als mit vielen Poren versehen dachte, in welche die Effluvien oder die Teilchen sich auflösender fester Körper eindringen könnten, vertrat er auch die Ansicht, daß sich die Teilchen fester Körper in Ruhe, die der beiden anderen Aggregatzustände dagegen in fortwährender Bewegung befänden[2]). Er fand, daß sich Wasser beim Gefrieren ausdehnte, untersuchte auch sorgfältig die bei der Auflösung eintretenden Verhältnisse, wie er denn die Ursache der Kälte, die durch Mischen von Schnee und Salz entsteht, der Auflösung des letzteren zuschrieb. Bei solchen Untersuchungen verwandte er auch viele Mühe auf die Bestimmung des spezifischen Gewichtes und ließ sich dafür ein Volumenaräometer aus Metall verfertigen, an welches unten der zu untersuchende Körper angebracht werden konnte[3]). So hat er auch namentlich Untersuchungen über den Salzgehalt des Meeres angestellt und von Seefahrern anstellen lassen und hielt mit Gassendi dafür, daß er aus dem Meere selbst stamme, also von Anbeginn in ihm vorhanden gewesen sein müsse. Außer diesem hat er seine Forschungen auch auf andere Probleme der Geophysik ausgedehnt[4]), auf den Erdmagnetismus, die unterirdischen und unterseeischen Temperaturen, wobei er fand, daß der Gefrierpunkt mit dem Salzgehalt erniedrigt werde, auf die Gestalt des Meeresbodens und auf die Höhe der Gebirge. Von größter Bedeutung aber für diese Wissen-

---

[1]) Boyle, Experimenta et notae circa caloris et frigoris originem seu productionem mechanicam. Genevae 1694.

[2]) Boyle, Historia fluiditatis et firmitatis in Tentamina quaedam physiologica. Amstelodami 1667.

[3]) Boyle, Philosophical Transactions 1675. Nr. 24, S. 447 (abridged Vol. I, S. 516).

[4]) Vgl. Moennichs, Robert Boyle als Geophysiker. München 1899, S. 39 ff.

schaft wie für die Physik im allgemeinen wurden seine Untersuchungen über die Luft. Ehe wir uns aber zu ihrer Besprechung wenden, schildern wir zunächst den Teil der Lehre des Des Cartes, der bisher von unseren Betrachtungen ausgeschlossen wurde, die Kartesianische Optik.

f) Die Optik des Des Cartes. Snellius.

Des Des Cartes Arbeiten, welche das Licht betreffen, sind in seiner Dioptrik und in seiner Schrift über die Himmelserscheinungen enthalten, die zusammen mit seiner Abhandlung über die Methode der analytischen Geometrie 1637 in Leiden erschienen[1]). Sieben Jahre später veröffentlichte er erst seine Principia philosophiae, die seine Ansichten über die Konstitution der Körper brachten. Wenn er danach das Licht als feinste Teilchen betrachtete, so entwickelte er hieraus erst seine Ansicht von der ersten Materie, aber er kam nicht umgekehrt von ihr auf seine korpuskulare Theorie des Lichtes. Diese bildete er sich vielmehr, wohl im Anschluß an Platon, als Beweis für die Brauchbarkeit seiner Methode aus der Betrachtung der Art, wie ein Blinder sich in der Außenwelt durch Vermittelung eines Stabes zurecht findet. So nimmt er an, daß „das Licht in einem leuchtenden Körper nichts anderes sei, als eine gewisse Bewegung oder ein eigentümliches und lebhaftes Streben, welches durch die Luft und andere durchsichtige Körper zu den Augen vordringt[2])". Wie aber der Blinde nicht nur durch die Wirkung der Körper, sondern auch durch die von ihm ausgehende Wirkung zu beobachten imstande ist, „so ist zuzugeben, daß der Gesichtssinn nicht nur durch die Wirkung der Bewegung, welche von den Gegenständen ausgehend zu unseren Augen gelangt, sie erkennt, sondern auch durch die Wirkung derjenigen, welche den Augen angehörend zu jenen gelangt[3])." So erklärt sich die Tatsache, daß Tiere und auch wohl Men-

[1]) Der vollständige Titel ist: Discours de la methode, pour bien conduire sa raison et chercher la verité dans les sciences. Plus la dioptrique, les meteores et la geometrie, qui sont des essais de cette methode. 1644 erschien sie in lateinischer Sprache und von ihrem Verfasser vermehrt in Amsterdam.

[2]) Des Cartes, Specimina philosophica. Ultima Editio. Amstelodami 1692. Cap. I, § III, S. 50. Lumen in corpore luminoso nihil esse praeter motum quemdam, aut actionem promptam et vividam, quae per aërem & alia corpora pellucida interjecta versùs oculos pergit.

[3]) Ebenda Cap. I, § V, S. 51. Ita concedendum est, visus objecta posse percipi, non tantummodò actionis vi, quae ex iis emanans ad oculos nostros diffunditur; sed etiam vi illius, quae oculis innata ad illa pergit.

schen im Dunkeln sehen können. Da aber, und dies führt er an einem weiteren Beispiel aus, es undenkbar sei, daß jene Teilchen sich in doppeltem Sinne bewegen, so ist es klar, „daß es nicht sowohl die Bewegung als ein Streben oder eine Neigung zur Bewegung im leuchtenden Körper sei, welche wir sein Licht nennen; leicht können wir daher folgern, daß die Strahlen dieses Lichtes nichts seien als die Linien, nach welchen dies Bestreben sich äußert[1]).“ Auf diese Art schafft er sich die Möglichkeit der mathematischen Behandlung der Erscheinungen des Lichtes, das er im Grunde aber doch als bewegte körperliche Teilchen sich denkt, welche vom Zentrum ihrer Bewegung im Kreise sich entfernen[2]). Denn erst indem er auf diese die an einem geschleuderten Ball beobachteten Erscheinungen anwendet und, wie dies bereits Vitello getan hatte, dessen Bewegungen in zwei Komponenten zerlegt, gelingt es ihm leicht die Reflexion auf mechanischem Wege zu erklären und das längst vergeblich gesuchte Brechungsgesetz aufzustellen. Zu dem letzteren gelangt er, indem er die Annahme macht, der Lichtstrahl treffe auf einen Stoff, der die sich auf ihm bewegenden Lichtteilchen in sich eindringen lasse. Ändert sich nun die senkrechte Komponente an der Stelle, wo der Strahl auftrifft, und wird z. B. auf die Hälfte zurückgebracht, so muß das Teilchen doppelt soviel Zeit gebrauchen, um den nämlichen Weg im zweiten Mittel zurückzulegen. Um den gebrochenen Strahl zu finden, muß man also vom Einfallspunkt die horizontale Komponente des einfallenden Strahles zweimal auftragen und von dem so gefundenen Punkt auf den mit der Resultierenden der beiden Komponenten des einfallenden Strahles geschlagenen Kreis ein Lot fällen, dessen Verbindungslinie mit dem Einfallspunkt alsdann die Richtung des gebrochenen Strahles gibt und ebenso, wenn die senkrechte Komponente vergrößert wird. So ergibt sich, daß, wenn die Geschwindigkeit im zweiten Mittel kleiner wird, der Strahl vom Einfallslot weg, wenn sie größer ist, er zum Einfallslot hin gebrochen wird. So erhielt demnach Des Cartes für die horizontalen Komponenten ein konstantes Verhältnis, welches das der Sinus des Einfalls- und Brechungswinkels ist, mit welcher Bezeichnung

[1]) Ebenda Cap. I, § VIII, S. 53. Non esse tam motum, quàm actionem sive propensionem ad motum, in corpore luminoso, id quod lucem illius nominamus; facile colligere possumus radios hujus lucis nihil esse, praeter lineas, secundùm quas haec actio tendit.

[2]) Ebenda § LV, S. 69.

er es indessen nicht ausgesprochen hat. In dem dichteren Mittel wird demnach nach des Des Cartes Emanationstheorie des Lichtes seine Geschwindigkeit größer, eine Folgerung, die eine experimentelle Bestätigung sehr wünschenswert machte. Dazu wählte er die Brechung des Lichtes in Linsen. Daß sphärische Linsen parallel auffallende Strahlen nicht in einem Punkte vereinigen, entging ihm nicht; da er aber bewiesen hatte, daß eine elliptisch-sphärische Linse solche Strahlen in dem zweiten Brennpunkt vereinigt, wenn die Strahlen auf die ellipsoidische Fläche auffallen, die sphärische aber aus eben diesem Brennpunkt beschrieben ist, so dachte er daran, solche zu benutzen. Doch aber zog er eine plan-hyperboloidische Linse vor, für die, wenn die Strahlen auf die ebene Fläche auffielen, dasselbe statthaben mußte, wenn das Brechungsgesetz richtig war. Er bestimmte mit Hilfe eines Prismas das Brechungsvermögen verschiedener Glassorten und baute, nachdem er eine passende gefunden hatte, eine Maschine, um solche hyperboloidische Gläser zu schleifen[1]), und sein Freund Mydorge, der sich viel mit der Herstellung von Brennspiegeln und Fernrohren beschäftigt hatte, ließ ihm, wohl durch den Mechaniker Ferrier[2]) eine solche schleifen. Da Des Cartes mit ihr zufrieden war, so muß er allzu hohe Anforderungen an sie nicht gestellt haben. Genau konnte die Fläche nicht sein, ist man doch jetzt noch nicht imstande, genau hyperboloidische Linsen zu schleifen!

Zu einer auf seine Anschauung vom Licht sich gründenden Erklärung der Farben kam er von seiner Theorie des Regenbogens. Die Schrift Al Fârisîs wie die des Theodorich von Freiberg waren keineswegs sehr bekannt geworden. Sonst hätte Maurolycus wohl nicht auf seine so unklare Ansicht über die Entstehung der schönen Himmelserscheinung kommen können, hätte Antonius de Dominis, der 1566 geboren, später zum Protestantismus übertrat, und 1624 sein Leben in den Kerkern der Inquisition endete, den doppelten Regenbogen nicht aus zwei verschiedenen Reflexionen am Hintergrunde eines und desselben Wassertropfens erklären können[3]). Aber bei seinem Versuch mit einer hohlen, mit Wasser gefüllten Glaskugel kam es ihm hauptsächlich auf die Erklärung der Farben an, die freilich

---

[1]) Ebenda Cap. X, S. 140 ff.

[2]) Huygens, Oeuvres complètes. Vol. I, La Haye 1888, S. 66 Note.

[3]) De Dominis, De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride. Venetiis 1611.

im Aristotelischen Sinne ausfiel. Der Strahl, der am wenigsten in die Kugel eindringe, also am wenigsten mit Dunkelem gemischt werde, meinte er, solle das rote, der tiefer eindringende das grüne, der den längsten Weg im Wasser zurücklege, also den größten Teil des Dunkelen enthalte, das blaue Licht geben. Inwieweit nun Des Cartes von den Versuchen seiner Vorgänger Kunde hatte, wissen wir nicht. Daraus, daß er sich dahin ausspricht, daß von vielen ausgezeichneten Männern diese Erklärung gesucht, aber nicht gefunden sei, dürfen wir es annehmen, wenn er ihre Ergebnisse auch nicht erwähnt. „Nachdem ich erkannt hatte," sagt er[4], „daß der Regenbogen nicht nur am Himmel erscheine, sondern auch in der uns benachbarten Luft, solange in ihr viele von der Sonne beleuchtete Wassertropfen vorhanden sind, wie wir in den Springbrunnen, die Wasser durch Röhren auswerfen, beobachten, war es mir leicht, zu schließen, daß er nur durch die Art, auf welche die Lichtstrahlen sich in den Tropfen bewegen, und von da in unsere Augen gelangen, hervorgerufen werde." Da er nun wußte, daß die Tropfen, obwohl von verschiedener Größe, doch sämtlich kugelförmig waren, so schloß er, daß der Regenbogen dieser Kugelgestalt seine Entstehung verdanke und benutzte, wie seine Vorgänger eine mit Wasser gefüllte Glaskugel, um seine Ursache klarzulegen. So konnte er das Auftreten der beiden Bögen mit allen Einzelheiten zur Anschauung bringen und auch die Winkel bestimmen, die die einfallenden mit den reflektierten Strahlen bilden mußten, wenn beide Bögen entstehen sollten. Für den Hauptregenbogen bestimmte er diesen Winkel zu etwa 42°, für den Überregenbogen zu etwa 52°. Zur Erklärung der in beiden auftretenden Farben entwarf er mit einem rechtwinklig ungleichschenkligen Prisma, das auf einem undurchsichtigen, mit einer kleinen Öffnung versehenem Schirm ruhte, auf einer senkrechten dahinter aufgestellten Tafel mittels auffallendem Sonnenlicht die nämlichen Farben. Die Öffnung war freilich so weit, daß die Mitte weiß erschien, auf der einen Seite aber traten die weniger brechbaren Farben, Rot, Orange (croceus) und Gelb, auf der anderen die brechbaren Grün,

---

[4]) Des Cartes, Specimina Philosophica. Ultima Editio. Amstelodami 1692. Meteora, Cap. VIII, S. 212: Postquam notari hanc Iridem non tantùm in caelo apparere, sed etiam in aëre nobis vicino, quoties multae in eo aquae guttae à Sole illustratae existunt; ut in fontibus quibusdam per fistulas aquam ejaculantibus experimur; facilè mihi fuit judicare, à solo modo quo radii luminis in guttas agunt, atque indè ad oculos nostros tendunt, eam procedere.

Blau und Violett[1]) auf. Auch war es nun nicht schwierig, den umgekehrten Regenbogen, den man gelegentlich beobachtet hatte, durch die Sonnenstrahlen zu erklären, die von einer Wasserfläche zurückgeworfen wurden. Das Wesen der Farbe aber erblickte Des Cartes in der verschiedenen Rotationsgeschwindigkeit der sie hervorrufenden Lichtteilchen, die er sich deshalb kugelförmig vorstellte. Durch die Wirkung des Prismas sollte diese Geschwindigkeit geändert werden. Das führte freilich zu willkürlichen Annahmen: „Nach meiner Meinung," sagt er darüber[2]), „folgt aus alle diesem mit Sicherheit, daß die Natur der Farben, welche in F auftreten (das Rot) nur darin bestehe, daß die Teilchen des feinen Stoffes, welche die Lichtbewegung vermitteln, mit größerer Gewalt und Kraft sich umzudrehen, als in gerader Linie sich zu bewegen gezwungen werden, so daß diejenigen, welche in die weitaus stärkste Drehung versetzt werden, Rot geben, und die nur zu wenig schwächerer angetriebenen Gelb. Wie dagegen die Natur der in H erscheinenden (der violetten) nur darin besteht, daß diese Teilchen nicht so rasch sich drehen, als sie es sonst tun, wenn keine Ursache ihrer Bewegung widersteht, so daß Grün erscheint, wo sie sich nicht viel langsamer als gewöhnlich drehen, und Blau, wo dies viel langsamer geschieht, und oft wird an den Grenzen dieses Blau ihm eine gewisse rote Farbe beigemischt, welche, indem sie ihm ihren Glanz mitteilt, es in Violett oder Purpur umwandelt." Wie das Glas des Prismas könnten dann auch andere Körper auf die Lichtteilchen einwirken, und so würden sich auf die nämliche Art ihre Farben erklären. Das Weiß ist aber das Licht selbst, das Schwarz der Schatten.

Endlich hat sich Des Cartes auch mit den Halos und den Höfen beschäftigt, zu deren Erklärung, wovon später die Rede sein wird, er

---

[1]) Ebenda Cap. VIII, § V, S. 216.

[2]) Ebenda Cap. VIII, § VII, S. 217: Et meâ sententiâ, manifestè ex his omnibus liquet, naturam colorum qui pinguntur in F, tantùm in eo consistere, quòd particulae materiae subtilis, actionem luminis transmittentes, majori impetu et vi rotari nitantur, quàm secundùm uneam rectam moveri: ita ut qui multò validiùs rotari nituntur, rubicundum colorem efficiant, & qui non nisi paulè validiùs, flavum. Ut contrà natura eorum qui videntur ad H, tantùm in eo consistit, quod hae particulae non tam velociter rotentur, quàm aliàs solent, cùm nulla talis causa earum motui resistit; ita ut viride appareat, ubi non multò tardiùs solito rotantur, & caeruleum, ubi multò tardiùs, & saepe in extremitatibus hujus caerulei rutilus quidam color ei miscetur, qui fulgorem suum ipsi communicans in violaceum sive purpureum mutat.

in den Wolken vorhandene Eisteilchen heranzieht, und ebenso mit der Art, wie unsere Gesichtswahrnehmungen zustande kommen. Die Anatomie des Auges war damals bereits so weit gefördert, daß dessen Teile genau bekannt waren. Ihre optische Bedeutung hatte Kepler erklärt. Man wußte, daß auf seinem Hintergrund ein umgekehrtes Bild des angeschauten Gegenstandes entsteht, aber nur von solchen Gegenständen deutlich, die eine angemessene Entfernung vom Auge haben. Wenn man aber von einem Menschen- oder Tierauge den Hintergrund hinwegnehme, so daß auf einem statt seiner angebrachten dünnen Papier in einer gewissen Entfernung befindliche Gegenstände deutlich erscheinen, und es nun von der Seite her zusammendrücke, so werden nun näher liegende scharf begrenzt, ein Versuch, den aber nach Schott[1]) bereits Scheiner angestellt hat. Daß man trotzdem die Gegenstände aufrecht sehe, sucht er wieder durch die Art, wie ein Blinder sich durch den Stab mit den Gegenständen bekannt macht, zu erklären, der wenn er einen links gelegenen Gegenstand untersuchen will, den prüfenden Stab in die rechte Hand nimmt und umgekehrt. „Und[2]) wie jener nicht urteilt, daß ein Körper doppelt sei, auch wenn er ihn mit beiden Händen berührt, so müssen auch unsere Augen, wenn sie beide auf denselben Ort sich einstellen, nur einen einzigen Gegenstand unserem Geiste darstellen, obgleich in einem jeden von ihnen ein besonderes Bild davon entworfen wird." Aus dem Winkel aber, den die Augenachsen miteinander bilden, schließen wir auf die Entfernung, in der sich der angeschaute Gegenstand befindet[3]). Einen, wenn auch noch nicht klaren Begriff hat Des Cartes auch von den identischen Stellen der Netzhaut. Ausgehend von der Beobachtung, daß man ein kleines Kügelchen als doppelt empfindet, wenn man es zwischen die gekreuzten Finger legt, während es bei parallelen nur eine Empfindung hervorruft, sieht er den Grund dafür, daß die beiden Bilder eines angeblickten Gegenstandes in der auf ihn gerichteten Stellung der Augen-

---

[1]) Gasparus Schottus, Magia universalis naturae et artis. Herbipoli 1657. S. 87.

[2]) Ebenda, Dioptrices, Cap. VI, § X, S. 87. Et quemadmodum ille idem non judicat corpus duplex esse, licèt duabus manibus illud tangat, sic etiam oculi nostri quum ambo versus eundem locum aciem suam dirigunt, non nisi unicum objectum menti debent exhiberi, quamvis in unoquoque eorum peculiaris ejus imago formetur.

[3]) Ebenda, Dioptrices, Cap. VI, § XI, S. 87.

achsen nur zu einer Vorstellung Veranlassung geben, in dem Umstand, daß sie auf die dieser Stellung entsprechenden Netzhautstellen fallen, während zwei Bilder auftreten, wenn das eine Auge von selbst oder durch den Druck des Fingers aus dieser Lage herausgebracht wird[1]). Ein auf das lebende Auge längere Zeit hindurch ausgeübter Druck kann seiner Ansicht nach die Wirkung haben, daß das Auge nun die Strahlen verschieden breche und eine dann angeschaute Lichtflamme von farbigen Ringen umgeben scheint[2]).

So sehen wir Des Cartes auch die Optik vom Standpunkte des Philosophen behandeln. Er sucht alle zu ihr gehörigen Erscheinungen zu erklären, indem er, wenn sich Schwierigkeiten ergeben, zu analogen Erscheinungen seine Zuflucht nimmt und sich daraus eine Erklärung bildet. Da er aber dabei das Experiment keineswegs vernachlässigt, so gelingt es ihm doch, eine Reihe der schönsten Entdeckungen zu machen, während er auf der anderen Seite phantastische Abwege durchaus nicht immer vermeidet. Diese Art der Forschung rief nun bei vielen seiner Zeitgenossen heftige Gegnerschaft hervor. So war es namentlich Isaak Vossius (1618 bis 1689), der in seiner 1662 in Amsterdam erschienenen Schrift: De lucis natura et proprietate (Über die Natur und die Eigenschaften des Lichtes) gegen die vielen unbewiesenen Voraussetzungen des Philosophen auftrat. So verwarf er die Erklärung der Tatsache, daß die Gestirne im Horizonte größer erscheinen als bei höherem Stande, aus der Wirkung der Phantasie des Beobachters, ebenso wie die Gassendis aus der größeren Weite der Pupille infolge ihres schwächeren Lichtes, und machte die größere Luftmasse dafür verantwortlich, die ihr Licht bei dieser tiefen Stellung durchlaufen müsse[3]). Ja er zieh ihn sogar, von Huygens unterstützt, des Plagiats an Snellius. „Dies alles aber," sagt der letztere[4]), „was über die Untersuchung der Brechung in einem ganzen Bande Snellius dargelegt hatte, blieb unveröffentlicht; ich aber sah es

---

[1]) Ebenda. Dioptrices Cap. VI, § XVIII, S. 91.

[2]) Ebenda, Meteora Cap. IX, § VII, S. 232.

[3]) Vgl. Wilde, Geschichte der Optik. Berlin 1838. 1. Teil, S. 319.

[4]) Huygens, Opuscula posthuma. T. I. Amstelodami 1728. Dioptrica, S. 2. Haec autem omnia, quae de refractionis inquisitione volumine integro Snellius exposuerat, inedita mansere; quae et nos vidimus aliquando, et Cartesium quoque vidisse accepimus, ut hinc fortasse mensuram illam, quae in sinibus consistit, elicuerit.

einmal und erfuhr, daß es auch Des Cartes gesehen habe, so daß er daraus vielleicht jenes Gesetz, welches auf dem Sinus beruht, entnommen hat."

Willebrord Snell van Royen, bekannter unter dem latinisierten Namen Willebrordus Snellius de Royen, war 1581 zu Leiden geboren[1]), wo sein Vater nach längerem Aufenthalt in Italien und in Deutschland, namentlich in Marburg in Hessen, Professor der Philosophie geworden war. Ob er in Leiden studiert hat, ist ungewiß[2]), hielt er doch bereits im Alter von 19 Jahren Vorlesungen über des Ptolemaios Almagest. Später schickte ihn sein Vater auf Reisen, gelegentlich welcher er sich längere Zeit in Prag bei Tycho Brahe aufhielt und mit Kepler verkehrte. Bald nach seiner Zurückkunft nach Holland starb sein Vater und er wurde 1613 zu dessen Nachfolger ernannt. Er brachte die übrige Zeit seines kurzen Lebens in Leiden zu, denn er starb schon 1626. Sein Hauptarbeitsfeld war die Mathematik und deren Anwendungen. Von ihm rührt der Name der Loxodrome[3]) her und ihm verdankt man die Stellung und Lösung der Aufgabe des Rückwärtseinschneidens der Feldmeßkunst, die fälschlich unter dem Namen der Pothenotschen Aufgabe bekannt geworden ist[4]). Den größten Ruhm aber erwarb er sich durch die erste Gradmessung, die er auf die Messung einer Basis zwischen Leiden und Soeterwoude gründete, und mittels welcher er den Breitenunterschied von Alkmaar und Bergen op Zoom auf zwei Minuten genau bestimmte. Als dann im Winter von 1622 die Umgegend von Leiden zufror, nahm er eine neue Basismessung vor, wurde aber an der Berechnung durch seinen Tod gehindert, der ihn infolge einer Erkältung, die er sich auf dem Eise zugezogen hatte, ereilte. Diese nahm später Muschenbroek vor und erhielt in der Tat ein viel besseres Ergebnis, was freilich zu des letztgenannten Zeiten keinen Wert mehr hatte, da man damals die Beobachtungen mit Fernrohren viel genauer anstellen konnte als dies Snellius, der über solche noch nicht ver-

---

[1]) Das gewöhnlich angegebene Geburtsjahr 1591 ist nach van Geer, Het Geboortejaar van Wilebrordus Snellius, Album der Natuur 1883, unrichtig.

[2]) Van Geer, Album der Natuur 1884, S. A. 3 Anmerkung.

[3]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. 2. Aufl. Bd. II. Leipzig 1900, S. 390 u. 707.

[4]) Van Geer, Notice sur la vie et les travaux de Willebrord Snellius. Archives Néerlandaises 1883, Bd. 18, S. 12. Vgl. Cantor a. a. O., Bd. II, S. 705.

fügte, zu erzielen imstande gewesen war[1]). Das Brechungsgesetz, wie es Snellius aussprach und uns von Huygens[2]) aufbewahrt ist, hatte eine andere Form wie die, welche ihm Des Cartes gegeben hatte. Verlängert man, spricht es Huygens aus, den einfallenden und den gebrochenen Strahl, bis sie beide eine zweite zur Einfallsebene senkrechte Ebene schneiden, dann haben die Strecken beider Strahlen vom Einfallspunkt bis zu dieser Ebene ein festes Verhältnis. In dieser Fassung führt das Gesetz nicht auf die Sinusse, sondern auf deren inverse Werte, die Kosekanten.

Während nun Huygens ausdrücklich sagt, daß Des Cartes nur vielleicht oder allem Anschein nach[3]) dieses Gesetz dem Snelliusschen Manuskript entnommen habe, während er zufügt, daß Snellius das von ihm aufgestellte Gesetz keineswegs richtig verstanden habe[4]), so hat man dieses so wenig beachtet, daß man bis auf die neueste Zeit die Beschuldigung, die Vossius aussprach, als durchaus berechtigt erachtete. Neuerdings hat man sie fallen gelassen. Wenn man schon früher darauf hinwies, daß der Gedankengang des Des Cartes ein solcher ist, daß es schwer wird, zu glauben, er habe ihm lediglich zur Verschleierung der Ansprüche eines anderen dienen sollen, so hat auch bereits 1882 P. Kramer[5]) nachgewiesen, daß Des Cartes das Gesetz schon 1627 hatte, er also, wie man annahm, es nicht mehr bei seinem längeren Aufenthalt in Holland von 1629 bis 1649 erhalten konnte, und auch darauf aufmerksam gemacht, daß in seinen Briefen nicht die mindeste Andeutung vorkommt, welche für die Entnahme des Gesetzes aus dem Snelliusschen Manuskripte spricht. Ferner hat Korteweg durch Mitteilung weiterer Aktenstücke, die Des Cartes gemachten Vorwürfe noch entschiedener entkräftet[6]). Er beruft sich namentlich auf einen Brief des Professors Golius an Konstantin Huygens, dem Vater Christians, vom

[1]) Van Geer, Album der Natuur 1884. S. A. S. 11.

[2]) Hugenii Opuscula posthuma. Tomus I. Amstelodami 1728, S. 2. Vgl. auch van Geer a. a. O., S. 14.

[3]) V. Cousin, Fragments philosophiques. 3. Ed. T. II. Paris 1838, S. 162.

[4]) Hugenii Opuscula posthuma. T. I. S. 2.

[5]) P. Kramer, Des Cartes und das Brechungsgesetz des Lichtes. Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik. 4. Heft. Leipzig 1882, S. 262.

[6]) Korteweg, Des Cartes et les Manuscrits de Snellius. Revue de Métaphysique et de Morale. 4. Année No. 4, Juillet 1896. Auch abgedruckt in Nieuw Archief voor Wiskunde II. Reeks. Deel III. S. 57 ff.

1. November 1632. Jakob Golius war 1596 im Haag geboren, hatte in Leiden Sprachen und Mathematik, letztere unter Snellius, studiert, hatte sich dann während mehrerer Jahre in Marokko und der Levante aufgehalten und war 1629 Professor der arabischen Sprache in Leiden geworden, in welcher Stellung er bis zu seinem 1667 erfolgten Tode verblieben war. Aus diesem Brief und einigen zwischen ihm und Huygens gewechselten geht hervor, daß vor dem Jahre 1632, in welchem Golius das Manusskript von Snellius auffand, von des letzteren Entdeckung des Brechungsgesetzes auch solche Personen, welche sowohl durch ihre Lebensstellung als auch durch ihr Interesse an der Sache vor andern dazu berufen waren, nicht die mindeste Kunde hatten, während sie anderseits das Gesetz kannten, seine Aufstellung aber Des Cartes zuschrieben. Da zu diesen in erster Linie Huygens, der Vater, gehörte, so bleibt es freilich unerklärt, warum er seinem Sohne nie etwas davon erzählt hat. Bedenkt man aber, daß Christian zur Zeit der Abfassung des Golius schen Briefes erst drei Jahre alt war, und in dem vielbewegten Leben beider soviel andere Dinge zwischen ihnen zur Sprache kommen mußten, die jene Erinnerung verwischten, zumal sie wohl zu der Zeit, in der Christian Huygens seinen Verdacht aussprach, nicht an demselben Orte wohnten, so erscheint des jüngeren Huygens Unkenntnis der wahren Sachlage nicht allzu unbegründet, wenn auch Huygens, der Vater, erst 1687 starb. Wir hätten so bezüglich der Entdeckung des Brechungsgesetzes einen in der Geschichte der Physik sich mehrmals wiederholenden Fall, daß dasselbe unabhängig von verschiedenen Forschern gefunden wurde, nachdem die Arbeiten ihrer Vorgänger die vorbereitenden Kenntnisse soweit gefördert hatten, daß der letzte Schritt über kurz oder lang getan werden mußte.

Die Folgerung, welche aus der von Des Cartes gegebenen Ableitung des Brechungsgesetzes gezogen werden mußte, daß die Geschwindigkeit des Lichtes im dichteren Mittel die größere sein müsse, war nicht dazu angetan, es sofort zu allgemeiner Anerkennung zu bringen. Namentlich war es der Toulouser Parlamentsrat Pièrre Fermat (1608 bis 1665), der hiergegen Einspruch erhob und damit einen Streit veranlaßte, der für Des Cartes durch den Umstand besonders unerquicklich wurde, daß Fermat sich vor deren Veröffentlichung ein Exemplar der Dioptrik verschafft und so in dem Verfasser den Glauben an eine gegen seine Person gerichtete Absicht erregt hatte. Aber auch

andere zeitgenössische Forscher konnten sich der Folgerung nicht anschließen, daß das als fester Körper gedachte Lichtteilchen nach seinem Durchgang durch einen von zwei parallelen Flächen begrenzten Körper in seiner früheren Richtung weiter gehen sollte, obwohl beim Eintritt in diesen seine Geschwindigkeit eine Änderung erfahren hatte. Da aber die Richtigkeit des Brechungsgesetzes experimentell über allen Zweifel gehoben wurde, so suchte Fermat[1]) nach einer anderen Ableitung und fand sie, indem er den Satz, den Heron für die Reflexion des Lichtes aufgestellt hatte, daß dieses, um von einem Punkt zu einem anderen zu gelangen, stets den kürzesten Weg wähle, dahin abänderte, daß es den Weg einschlage, den es in der kleinsten Zeit zurücklege. Indem er so den Widerstand im dichteren Mittel größer fand als im weniger dichten, gelang es ihm freilich, jene Schwierigkeit zu heben, über das Wesen des Lichtes aber klärte sein Beweis, den auch die Lehrbücher der Gegenwart noch aufzunehmen pflegen, nicht auf.

g) Die Fortschritte der Lehre von der Luft. Guericke und Boyle.

Neben den Problemen der Mechanik und Optik waren es auch die über das Wesen der Luft, die man in Angriff nahm. Zu diesem Zwecke knüpften Guericke und Boyle aber nicht an die Ergebnisse Torricellis und Pascals an, sie gingen vielmehr ganz selbständig vor und lernten jene erst kennen, nachdem sie bereits zu wichtigen eigenen gekommen waren.

Otto von Guericke war 1602 in der damals freien Reichsstadt Magdeburg geboren, wo sein Vater, wie außer ihm verschiedene Mitglieder seiner Familie, Stellungen im Rate bekleidet hatten und bekleideten. Wie diese schrieb er sich eigentlich Gericke, die Schreibweise seines Namens Guericke nahm er an, als er 1666 vom Kaiser in den Adelsstand erhoben worden war. Nachdem er in Leipzig, Helmstädt und Jena die Rechte studiert hatte, fügte er diesen Kenntnissen in Leiden noch die der mathematischen und mechanischen Wissenschaften hinzu und wurde, nachdem er in seine Vaterstadt zurückgekehrt war, wahrscheinlich schon 1627 in deren Magistrat gewählt. In dieser Stellung hat er das schrecklichste Ereignis jenes fürchterlichen Krieges, der

[1]) Fermat, Varia opera mathematica. Tolosae 1679. S. 156 ff. Vgl. Wilde, Geschichte der Optik. Berlin 1838. I. Teil, S. 232.

30 Jahre lang Deutschland verwüstete, die Zerstörung Magdeburgs, miterlebt und in einem noch daselbst vorhandenen Manuskripte geschildert. Zwar blieb sein Haus unversehrt, aber seine ganze Habe wurde vernichtet. Er selbst trat, aller Hilfsmittel beraubt, als Ingenieur in schwedische, später in sächsische Kriegsdienste, bis er nach dem Wiederaufbau der zerstörten Stadt seine Stelle in deren Rate wieder einnahm, um 1646 zu einem ihrer Bürgermeister gewählt zu werden. Als solcher hat er Magdeburg mit großem diplomatischen Geschick auf mehreren Reichstagen, so auch bei den Verhandlungen in Münster und Osnabrück, die 1648 den grauenvollen Krieg beendeten, vertreten. Trotzdem gelang es ihm ungeachtet aller Bemühungen nicht, der früheren Reichsstadt ihre Reichsunmittelbarkeit zu bewahren. 1681 begab er sich zu seinem Sohne nach Hamburg und starb dort 1686.

Wie Boyle legte Guericke im Gegensatz zu Des Cartes das größte Gewicht auf das Experiment. „Was daher durch das Experiment oder die sinnliche Wahrnehmung gezeigt wird, ist allen auch noch so wahrscheinlichen und schönen Vernunftschlüssen vorzuziehen: „da vieles in der Spekulation oder der Disputation als wahr erscheint, dessen Ausführung in Wirklichkeit doch nicht möglich ist", sagt er[1]) in der Vorrede des Werkes, welches die wissenschaftliche Arbeit seines Lebens enthält. Es ist dem Großen Kurfürsten gewidmet und trägt den etwas umständlichen Titel: Ottonis de Guericke Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio, primùm à R. P. Gaspare Schotto, è Societate Jesu, et Herbipolitanae Academiae Matheseos Professore: Nunc verò ab ipso Auctore perfectius edita, variis que aliis Experimentis aucta. Quibus accesserunt simul certa quaedam de Aëris pondere circa Terram; de Virtutibus Mundanis, et Systemate Mundi Planetario; sicut et de stellis fixis, ac Spatio ille Immenso quod tàm intra quam extra eas funditur (Ottos von Guericke neues (sogenannte) Magdeburgische Versuche über den leeren Raum, zuerst von dem von P. Kaspar Schott von der Gesellschaft Jesu und Professor der Mathematik an der Würzburger Universität, nun aber von dem Verfasser selbst vollständiger herausgegeben und durch verschiedene andere Versuche vermehrt. Denen zugefügt sind einige über das Gewicht der die Erde umgebenden Luft; über die Weltkräfte und das

[1]) Quod itaque experientiâ vel sensu demonstratur, omni ratiocinationi quantumvis probabili ac speciosae, anteponendum est: cum multa in speculatione aut disputatione, vera videantur, quae tamen nullum effectum in praxi exhibeant.

System der Planetenwelt; sowie auch über die Fixsterne und jenen unermeßlichen Raum, welcher sich innerhalb als auch außerhalb dieser ausbreitet). Vollendet hat er es am 14. März 1663, die Vorrede ist an demselben Datum 1670 geschrieben. Krankheit und Überhäufung mit anderen Geschäften hinderten ihn aber, es früher als 1672 herauszugeben, in welchem Jahre es in Amsterdam erschien[1]).

Schon der Titel des Werkes läßt es nicht zweifelhaft erscheinen, daß Otto von Guericke dessen bei weitem wichtigsten Teil in seinen Versuchen zur Herstellung des leeren Raumes sieht. Doch aber bildet ihre Darstellung erst den Inhalt des dritten Buches seines Werkes. Der erste ist der Darstellung der Weltsysteme gewidmet und gibt, indem er sich zu dem Kopernikanischen bekennt, einen ausführlichen Überblick über die astronomischen Kenntnisse seiner Zeit. Wenn er sie auch nicht durch eigene Beobachtungen erworben hat, so sucht er doch die hier in Frage kommenden unermeßlichen Dimensionen der Vorstellung durch Zahlenangaben näher zu bringen[2]). Andererseits macht er aber auch auf die kleinsten Teilchen aufmerksam, die zu erkennen das Mikroskop entfernt nicht hinreicht, die Teilchen, welche man wohl Atome nennt und welche zwar Individuen, aber durchaus unteilbar sein sollen. So sind die Teilchen des Wassers, der Luft, des Feuers und anderer Flüssigkeiten so überaus klein, wie es auf keine Weise vorgestellt werden kann, trotzdem aber können sie weder Glas noch Metalle durchdringen[3]). Die Luft aber, die als ein Effluvium, ein Ausfluß des Wassers und der Erde gedacht wird, umgibt die letztere nur bis zu einer gewissen Höhe, die nicht den halben Abstand des Mondes von der Erde erreicht[4]). Darüber breitet sich aber das Spatium, der ungeheure Raum, noch aus. Er enthält die Weltkörper. Es ist aber zu unterscheiden zwischen dem Vakuum und dem Vakuum Spatium, dem leeren Raum. Wie der Tod die Auslöschung des Lebens, die Finsternis die Abwesenheit des Lichtes, so ist das Vakuum die Privation des Vollen in der Tat ein Nichts, das weder erkannt, noch begriffen werden kann. Dem gegenüber aber ist der leere Raum ein solcher, aus dem alle Körper, also alles ihn Erfüllende, weggenommen worden ist[5]). Hinsichtlich dieses leeren

---

[1]) Guericke a. a. O., Praefatio ad Lectorem.

[2]) a. a. O., Lib. I, Cap. XX ff., S. 26 ff.

[3]) a. a. O., Lib. II, Cap. XII, S. 70.

[4]) a. a. O., Lib. III, Cap. IX. 3. Inhaltsangabe am Rande S. 85.

[5]) Ebenda Lib. II, Cap. III, S. 56.

Raumes hatte man die verschiedensten Ansichten geäußert, und dies hatte in Guericke schon früh den Wunsch erregt, ihn zu erforschen[1]). Dieser Wunsch wurde der Ausgangspunkt der sogenannten Magdeburgischen Experimente. „An der Erdoberfläche bleibt aber jeder Raum, den ein Körper verläßt, nicht leer, sondern wird von der Luft erfüllt; in derselben Weise, in der einen Raum im Wasser ein Fisch mit seinem Körper einnimmt; sobald er seinen Ort ändert, wird dieser wiederum vom Wasser angefüllt[2])." Es handelte sich also darum, die Luft aus einem Gefäße zu entfernen und ihr durch dessen Abschluß den Wiedereintritt zu verwehren.

Zu diesem Zwecke brachte Guericke an dem unteren Teil eines Faßes einen messingenen Pumpzylinder an, wie solche damals bei den Feuerspritzen üblich waren. Es waren Druckpumpen mit einem Ventil am Ende und einem an der Seite des Zylinders; letzteres ersetzte er durch einen eingeschliffenen Messingstöpsel. Nachdem nun das Faß mit Wasser gefüllt und oben zugeschlagen war, wurde das Wasser herausgepumpt. Unter großer Anstrengung der Pumpenden wurde dies Ziel zwar erreicht, aber ein luftfreier Raum doch nicht erhalten, da die Luft durch die Poren der Dauben unter zischendem Geräusch eindrang. Auch das Einsetzen eines kleineren Fasses in ein mit Wasser gefülltes größeres änderte hieran nichts, und so hatte Guericke erst den gewünschten Erfolg, als er an Stelle des Fasses eine kupferne Kugel nahm, aus der er dann die Luft ohne weiteres und ohne Anwendung des sie verdrängenden Wassers auspumpen konnte[3]). Bei dem ersten Versuche mit ihr wurde sie aber plötzlich mit lautem Knall zusammengedrückt, wie Guericke glaubte, weil der Verfertiger der Kugel dieser nicht eine genügend vollkommene Form gegeben hatte. Es ist nicht unmöglich, daß er dadurch auf den Druck der Luft aufmerksam wurde, da er Torricellis Arbeiten damals noch nicht kannte[4]). Die Zeit, in welcher er diese Versuche anstellte, hat er freilich nicht aufgezeichnet. Es waren wahrscheinlich die Jahre von 1632 bis 1638, die er ohne Unterbrechung in seiner Vaterstadt verlebte. Sicher ist nur, daß er 1654 die Versuche mit seiner neuen Luftpumpe auf dem Reichs-

---

[1]) Ebenda Lib. II, Cap. I, S. 54.

[2]) Ebenda Lib. III, Cap. I, S. 73.

[3]) Ebenda Lib. III, Cap. II u. III, S. 73.

[4]) Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 131.

tage zu Regensburg vorführte, wo sie Kaiser Ferdinands III. und der übrigen versammelten Fürsten Bewunderung erregten[1]). Am meisten Aufsehen erregten zwei Halbkugeln, deren Ränder so aufeinander paßten, daß sie leicht zu einer Vollkugel zusammengelegt werden konnten. Sie waren mit einem durch einen Hahn verschließbaren Rohransatz versehen, mit dessen Hilfe sie auf das nach oben gerichtete Rohr des Pumpzenylinders gesetzt werden konnten. Der Durchmesser der durch sie gebildeten Kugel betrug fast $^3/_4$ einer Magdeburgischen Elle, und 16 Pferde, von denen die eine Hälfte an Ringe an der einen, die andere an solche an der anderen Halbkugel angespannt wurden, konnten sie nicht auseinander ziehen. Gedichtet waren die Kugeln mit einem Lederring, der mit einem aus Wachs und Terpentinöl bestehendem Kitt getränkt worden war. Seinen ganzen Apparat, den er nach Regensburg mitgebracht hatte, überließ er dann dem Kurfürsten von Mainz und Fürstbischof von Würzburg Johann Philipp von Schönborn, der sie nach Würzburg bringen ließ, wo der Würzburger Professor, der Jesuit Caspar Schott (Gasparus Schottus, 1608 bis 1666) die Experimente wiederholte und sie und die zu ihnen nötigen Apparate mit Guerickes Erlaubnis in seiner 1657 in Würzburg erschienenen Mechanica hydraulo-pneumatica und später in seiner Technica curiosa sive Mirabilia artis, Nürnberg 1664, bekannt machte[2]). Danach hatte Guericke die kupferne Kugel bereits ersetzt durch „ein gläsernes Gefäß, wie es die Apotheker verwenden (gewöhnlich $^1/_4$ oder $^1/_2$ Rezipiens, zu deutsch eine viertel oder auch halbe Vorlage genannt), dessen Hals durch einen harzigen Stoff irgendwelcher Art gedichtet war anstatt der Lötung, welchen die Goldarbeiter in deutscher Sprache Kith nennen[3])," um darin das Verhalten von Vögeln, Fischen,

---

[1]) Nach einer Mitteilung des Kölner Professors Kramp im 10. Heft von Hindenburgs Archiv von 1799, S. 232, die aber Müncke im 6. Bande von Gehlers physikalischem Wörterbuch falsch zitiert, soll Guericke bereits im Jahre 1641 der Stadt Köln eine Luftpumpe geschenkt haben. Sie ist nicht mehr vorhanden, und so kann jene Angabe nicht zur genauen Bestimmung des Erfindungsjahres der Luftpumpe dienen. Vgl. Berthold, Die Kölner Luftpumpe v. J. 1641. Wiedemanns Annalen. Bd. XX. Leipzig 1883, S. 345.

[2]) Guericke, Experimenta nova etc. Lib. III, Cap. IV, S. 75.

[3]) Ebenda Lib. III, Cap. V, S. 77. Vitreum Vas, quo utuntur Pharmacopoeae (vulgò $^1/_4$ vel $^1/_2$ Recipiens, Germ. eine Virtel, oder auch halbe vorlage) cujus collo picea aliquâ materiâ loco plumbaturae, quam Aurifices Germanicè Kith vocant.

Mäusen, aber auch Uhren, Glocken, Kerzen usw. beobachten zu können. Der Dichtung wegen wurde der Pumpenstiefel mit dem unteren Teil des Rezipienten in einen mit Wasser gefüllten Zuber gesetzt.

Schotts Mitteilungen regten Boyle zu gleichen Versuchen an, der damit einen längst gehegten Plan zur Ausführung brachte. Aber er suchte Guerickes Apparat nach verschiedenen Richtungen hin zu verbessern. „Namentlich," warf er ihm vor[1]), „ist die Luftpumpe . . so hergestellt, daß zum Entleeren des Gefäßes zwei kräftige Menschen nötig sind, welche einige Stunden am Joche arbeiten müssen. Dann aber, und das ist ein Fehler von größerem Gewichte, besteht der Rezipient oder das auszuleerende Gefäß aus einer unversehrten Glaskugel, die mit dem Halse verbunden ist, und das hat zur Folge, daß er Gegenständen, mit denen Versuche angestellt werden sollen, den Eintritt verwehrt, weshalb man nur auf einige wenige, außer den vom Autor bereits beobachteten und von Schott erwähnten Phänomenen hoffen darf. Um diesen Unvollkommenheiten einigermaßen zu begegnen, zog ich . . . R. Hooke . . . hinsichtlich einer neu auszuführenden Luftpumpe zu Rate, welche nicht lange in Wasser untergetaucht gehalten zu werden brauchte (was oft ohne Nachteil nicht möglich ist) und leichter behandelt und benutzt werden konnte." Boyles Luftpumpe zeigte demgemäß eine wesentlich andere Anordnung wie die Guerickesche. Der unten mit einem Hahn versehene Rezipient hatte oben eine durch einen Deckel verschließbare Öffnung, in den ein konischer Stöpsel unten mit einer Öffnung zur Befestigung eines Fadens eingesetzt werden konnte. Mit dem unteren Rohre wurde er auf den senkrecht stehenden Stiefel aufgesetzt, der oben die mittels des Stiftes

[1]) Boyle, Nova experimenta physico-mechanica de vi Aeris elastica et ejusdem Effectibus. Editio postrema. Roterodami 1669 (die erste Ausgabe erschien 1660). S. 5. Imprimis enim Antlia Pneumatica . . . ita fabrefacta est, ut in evacuando vase duorum hominum, satis robustorum, jugi per aliquot horas labore opus sit. Deinde, qui gravioris momenti defectus est Recipiens sive vas Evacuandum ex uno integro, & continuo vitri Globo atque collo consistens, totam machinam ita compingit, ut rebus ad Experimenta facienda conducentibus neget introitum: unde si ulla, certè pauca admodum, praeterquam quae ab Authore jam observata sunt Phaenomena & à Schotto memorata sperare indè liceat. Quapropter, ut defectibus hisce aliquantulum scùcurrerem . . R. Hooke . . . . indagandae Antliae cuidam Pneumaticae adhibui, quam aquae diu immersa teneri (quod saepius absque incommodo fieri nequit), non foret necessè, quaeque facilius agitari exercerique possit.

verschließbare Öffnung hatte. Die Kolbenstange ragte nach unten aus ihm heraus und trug Zähne, so daß sie mittels eines durch eine Kurbel drehbaren Getriebes auf und ab bewegt werden konnte. Den Stiefel und die Lager der Welle dieses Getriebes trug ein kräftiger Dreifuß. Der Kolben wurde durch zwei Teile gebildet, von denen der eine genau in den Stiefel paßte, der zweite einen Spielraum ließ, in den ein Zylinder von gegerbtem Leder durch Hammerschläge getrieben wurde. Auf den Kolben wurde der besseren Dichtung wegen Öl oder, was Boyle vorzog, Öl und Wasser gegossen. Alle Fugen wurden mit einem Kitt aus Pech, Harz und Holzasche gedichtet, der mit einem heißen Eisen angeschmolzen wurde. Mit dieser Luftpumpe hat Boyle eine große Zahl Versuche angestellt. Mit ihren Leistungen war er aber nicht zufrieden, und er dachte daran, sie durch eine horizontale nach Guerickes Vorgang in Wasser gelegte zu ersetzen, wovon freilich Huygens in einem am 30. Dezember 1661 an Moray gerichteten Brief abriet[1]).

Die von Huygens ausgesprochene Annahme wurde durch Guericke selbst gerechtfertigt, dessen Werk eine zweite Luftpumpenkonstruktion[2]) enthält, die nach der Idee von Boyle gebaut war, obgleich Guericke nirgends sagt, daß er diese Idee benutzt habe. Die Anordnung ihrer Teile ist die nämliche, wie bei der Luftpumpe des englischen Gelehrten, nur war die Zahnstange mit Getriebe durch einen einarmigen Hebel ersetzt, der seinen Stützpunkt an dem einen Bein des verwendeten eisernen Dreifußes hatte, und es war die Dichtung mit Wasser beibehalten. Das war dadurch ermöglicht, daß der Hahn unter dem Rezipienten sich in einem trichterförmigen Gefäß befand, während an den drei Beinen des Dreifußes ein ebenso gestalteter Blechbehälter aufgehängt werden konnte, in dessen Bauch die untere Öffnung des Stiefels sich befand. Beide Behälter wurden mit Wasser gefüllt, und Guericke war offenbar mit diesen Abänderungen seiner ersten Konstruktion zufrieden; denn als der Große Kurfürst von ihm eine solche zu haben wünschte, schickte er ihm die zweite Konstruktion nebst zwei großen Halbkugeln, die in Berlin in der Kgl. Bibliothek aufbewahrt wurden, bis sie 1908 an das Deutsche Museum in München abgegeben worden sind[3]).

---

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, T. III, La Haye 1890, S. 440.

[2]) Guericke, Experimenta nova etc. Lib. III, Cap. 4. Iconismus VI, S. 76.

[3]) Das Vorhandensein dieser Luftpumpe auf der Berliner Bibliothek habe ich bis 1714 verfolgen können.

Guericke sowohl wie Boyle haben mit ihren Luftpumpen eine Reihe Versuche angestellt und deren Ergebnisse mitgeteilt. Während aber Guericke hauptsächlich bestrebt war, das Gewicht und den sich daraus ergebenden Druck der Luft nachzuweisen, geht Boyle mehr darauf aus, die Verdünnung der Luft im Rezipienten vor Augen zu führen. So rühren von letzterem bereits eine Anzahl Versuche her, die man auch jetzt noch in den Vorlesungen zu dem nämlichen Zwecke anzustellen pflegt. Er brachte eine geschmeidig gemachte, zur Hälfte mit Luft gefüllte und fest zugeschnürte Blase unter den Rezipienten[1]), anstatt deren de Roberval später eine Fischblase nahm und zeigte, daß sie durch Pumpen zur Ausdehnung gebracht werden konnte. Ein zum Teil mit Wasser, zum anderen Teil mit Luft gefülltes Essenzenfläschchen, das mit der Öffnung nach unten auf den Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäßes gestellt wurde, stieg empor, als man die Luft darüber verdünnte[2]). Der Saugheber hörte alsdann auf zu fließen. Das Quecksilber in einem U-förmigen Rohr mit einem offenen kürzeren und einem geschlossenen längeren Schenkel fiel aus dem letzteren herab, und es belehrt uns dieser manometrische Versuch, daß Boyle mit seiner Luftpumpe eine Verdünnung bis zu 1 Zoll Quecksilberdruck zu treiben imstande war[3]). Aus einem Gefäß mit Wasser stiegen Blasen auf, was Boyle durch die Annahme, daß sich das Wasser in Luft verwandele, erklären zu müssen glaubte, daß es verdampfe, kam ihm noch nicht in den Sinn[4]). Auch den vielfach später Gay Lussac zugeschriebenen Versuch mit einer kleinen Wage unter dem Rezipienten, deren einer Arm eine halb mit Luft gefüllte Lammblase, der andere ein sie in freier Luft im Gleichgewicht haltendes Bleistück trug, stellte er mit dem Erfolg an, daß bei wachsender Luftverdünnung die Lammblase herabsank. Später ersetzte er sie mit dem nämlichen Erfolg durch ein luftdicht verschlossenes eiförmiges Glasgefäß. Ein ebensolcher in freier Luft aufgestellter Apparat ließ ihn 1666 Schwankungen des Wagebalkens beobachten, und er verglich diese mit denen des Barometerstandes[5]). Während er aber in seinen früheren Veröffentlichungen von der Torricellischen Röhre redet, nennt er hier den Apparat

[1]) Boyle, Nova experimenta physico-mechanica. Experimentum IV. S. 40.

[2]) Boyle, ebenda Experimentum XXV, S. 169.

[3]) Boyle, ebenda Experimentum XVII, S. 86.

[4]) Boyle, ebenda Experimentum XXII, S. 132.

[5]) Boyle, Philosophical Transactions 1666, Nr. 14, S. 231.

ein Barometer. Diese Bezeichnung findet sich nach Bolton zuerst in einem anonymen Artikel der Philosophical Transactions vom Jahre 1665, worin es heißt[1]), daß neuerdings ein solches Instrument Barometer oder Baroskop genannt werde. Der Vermutung Boltons, daß dieser Artikel von Boyle herrühre, wird man aber kaum beistimmen können, da in ihm von dem berühmten Naturforscher Boyle (Noble Searcher of Nature, Mr. Boyle) die Rede ist, eine solche Bezeichnung seiner selbst aber mit der Denkweise Boyles nicht gut in Einklang zu bringen sein dürfte.

Einen ähnlichen Versuch hat Guericke angestellt, um damit das Gewicht der Luft nachzuweisen. Zu diesem Zwecke hing er eine mit einem Hahn versehene hohle kupferne Kugel an den einen Arm des Balkens einer Wage und brachte ihn durch ein an den andern aufgehängtes Bleistück ins Gleichgewicht. Als er dann mittels des Hahnes die Kugel mit einem ausgepumpten Gefäß in Verbindung brachte und einen Teil der in ihr enthaltenen Luft durch Öffnen des Hahnes in den leeren Raum hatte ausströmen lassen, erwies sich die Kugel als leichter als das Bleistück[2]). Wenn ihm nun auch ein Versuch zur Bestimmung des Gewichtes der Luft mißlang, so bewies er doch das Dasein des Luftdruckes, indem er statt der Kugel einen durch einen Kolben abgeschlossenen Zylinder nahm und zeigte, daß die Kraft von 50 und mehr Männer nicht hinreichte, um den Kolben hochzuhalten, sobald er in der nämlichen Weise die Luft unter dem Kolben verdünnte[3]). Einen ebenso ausgepumpten Glaskolben konnte er durch Vermittlung eines mit einem Hahn verschließbaren Rohres aus einem tiefer gelegenen Zuber mit Wasser füllen[4]). Dieser Versuch bewies ihm, daß die Annahme eines Abscheus der Luft vor dem leeren Raum nicht mit dem Tatbestand übereinstimme, daß es vielmehr der Druck der auf der Oberfläche des Wassers lastenden Luft sei, der dieses in den Glaskolben presse. Daß die Kraft, mit der die leer gepumpten Halbkugeln auseinander gezogen werden müßten, ebenfalls nur den Zweck haben könne, diesen Druck zu überwinden, zeigte er, indem er die obere Halbkugel

---

[1]) Bolton, Origin of the Word »Barometer«. Science 1903, N. S. Bd. 17. S. 547.

[2]) Guericke, Experimenta nova etc. Lib. III, Cap. 21, S. 104; Cap. 26, S. 107.

[3]) Guericke, ebenda Lib. III, Cap. 27, S. 109.

[4]) Ebenda Lib. III. Cap. 17, S. 93.

an einen Haken hing, an der unteren aber eine Wagschale anbrachte, beide zusammensetzte, auspumpte und dann auf die Wagschale soviel Gewichte legte, bis sie abgerissen wurde[1]). So sehr solche Versuche dazu aufzufordern schienen, auch das Verhältnis des Gewichtes der Luft zu dem des Wassers zu bestimmen, so hielt er dies mit Recht für aussichtslos. „Denn," meinte er[2]), „weil die Luft um so dichter und also schwerer ist, je niedriger sie sich befindet, dagegen um so dünner und also leichter, je höher sie gelegen ist, so ist jeder Versuch in dieser Richtung vergeblich und sein Ergebnis völlig ungewiß." Boyle freilich hat dies Verhältnis zu $\frac{1}{938}$ bestimmt, obwohl er die Unmöglichkeit, genaue Zahlen dafür zu erhalten, keineswegs übersah. Er wollte vielmehr mit dieser Bestimmung darauf hin weisen, indem er anführt, daß Mersenne dafür den Wert von $\frac{1}{1306}$ Riccioli ihn zu $\frac{1}{10000}$, Galilei dagegen nur zu $\frac{1}{40}$ schätzungsweise bestimmt hatte[3]). Wie Boyle suchte auch Borelli den von Mersenne gefundenen Wert zu verbessern, fand aber 1660 für dies Verhältnis $\frac{1}{1175^4/_7}$.

Bei seinen qualitativen Ergebnissen blieb aber Guericke nicht stehen, er suchte die Größe des Luftdruckes auch quantitativ zu bestimmen. Dies gelang ihm mit Hilfe eines Apparates, den wir ein Wasserbarometer nennen würden. Es bestand aus fünf ineinander gefügten Röhrenstücken, die am unteren Ende kegelförmig verengt, am oberen Ende dagegen trichterförmig erweitert und so ineinander gepaßt waren. In den Trichter gegossenes Wasser stellte den luftdichten Verschluß her. Das unterste und das oberste dieser Röhrenstücke waren an ihrem unteren Ende durch einen Hahn verschließbar, das letztere bestand aus einem eiförmigen Glasgefäß, dessen untere Öffnung in das den Hahn tragende Metallrohr eingekittet worden war. Mit geschlossenem Hahn stellte er nun das unterste Rohrstück in einen Zuber mit Wasser und füllte

---

[1]) Ebenda Lib. III, Cap. 25, S. 106.

[2]) Ebenda Lib. III, Cap. 21, S. 101. Verum enim vero quia aër quanto humilior est, tantò compressior adeoque gravior: Contrà, quantà altior tantò magis dilatatus consequenter levior est; Itaque omnis conatus in hac re frustraneus ac omninò incertus.

[3]) Boyle, Nova experimenta physico-mechanica de vi aëris elastica. Roterodami 1660. S. 254 ff.

es mit Wasser an; ebenso stellte er die drei nächsten, die durch die Wand seines Hauses gestützt waren, übereinander auf, so daß der Kegel des oberen in den Trichter des unteren paßte; in den Trichter des obersten aber setzte er das an die Flasche gekittete Metallstück, nachdem die Flasche mit Wasser gefüllt und der Hahn geschlossen war. Wurden nun beide Hähne geöffnet, so sank das Wasser herab, blieb aber dann in einer gewissen Höhe stehen, die durch einen als Mensch gestalteten Schwimmer abgelesen wurde[1]). Daß es der Luftdruck sei, welcher die über die Wasserfläche im Zuber gehobene Wassersäule trug, übersah Guericke sofort und berechnete ihn aus dem Gewicht dieser Säule zu 2687,1 Pfund, von denen eines dem Gewichte von 16 Kaisertalern gleich war, auf eine Kreisfläche vom Durchmesser von 67 Teilen einer magdeburgischen Elle[2]). Die Beobachtungen der Schwankungen der Wasseroberfläche seines Apparates ließen ihn deren Zusammenhang mit den Änderungen des Wetters erkennen. So beobachtete er im Jahre 1660, wie der Stand des Wasserspiegels unter den tiefsten Punkt der von ihm an seinem Apparate angebrachten Skala sank. „Als ich das sah," erzählt er[3]), „verkündete ich den Anwesenden, daß ohne Zweifel irgendwo ein Unwetter wüte. Nachdem kaum zwei Stunden verflossen waren, brach jener Sturm in unseren Gegenden, wenn auch mit geringerer Heftigkeit, als auf dem Ozean los." Neben dem Luftdruck beobachtete Guericke aber auch die Lufttemperatur und hatte zu diesem Zweck eine große mit einem Ventil versehene kupferne Kugel angebracht, an deren unterstem Punkt ein Kupferrohr von fast 7 Ellen Länge angelötet war, das den einen Schenkel eines kommunizierenden Rohres bildete. Der andere nur wenig kürzere Schenkel war oben offen, in ihn wurde eine gewisse Menge Weingeist gegossen und dieser in den zur Kugel führenden Schenkel dadurch hereingesogen, daß mit Hilfe der Luftpumpe und durch Vermittelung des Ventils die Luft in der Kugel verdünnt wurde. Auf dem Weingeist im offenen Schenkel ruhte ein aus dünnem Messingblech verfertigter Schwimmer, der an einem über eine Rolle gehenden Faden hing, dessen anderes Ende einen

---

1) Ebenda Lib. III, Cap. 20, S. 98.

2) Ebenda Lib. III, Cap. 22, S. 103.

3) Ebenda Lib. III, Cap. 20, S. 100. Quo viso, praesentibus palàm dixi, magnam sine dubio tempestatem alicubi extitisse. Vix duae elapsae erant horae, cum ventus ille procellosus in nostram etiam regionem, minus tamen violentus, quàm in Oceano fuerat, irruit.

Zeiger trug, als welcher der ausgestreckte Arm eines Engelchens oder nackten Kindes diente. Ein das kommunizierende Rohr einhüllender Blechmantel trug eine Skala, deren Teilstriche als: Große Kälte, kalte Luft, kühle Luft, temperierte Luft, laue Luft, warme Luft und große Wärme bezeichnet waren. Die Einstellung des Zeigers aber nahm er so vor, daß er durch Auspumpen der Luft aus der Kugel den Zeiger dann in die Mitte der Skala brachte, wenn zuerst Reif und kalte Nächte eintraten. Den Einfluß, den die Veränderungen des Luftdruckes auf die Angaben seines Instrumentes haben mußten, scheint er nicht beachtet zu haben. Das Thermometer war an der nach Norden weisenden Wand des Guerickeschen Hauses befestigt, die Kugel blau lackiert und mit goldenen Sternen und der Inschrift Mobile Perpetuum versehen[1]). Aber auch andere Thermometer schlug er vor, das eine nach Art des sogenannten Cartesianischen Tauchers in Spiritus, der bei Kälte nach oben steigen, bei Wärme herabsinken und bei gemäßigter Temperatur sich in der Mitte halten sollte. Auch die Stellung des Wagebalkens, der am einen Ende eine ausgepumpte kupferne Kugel, am anderen ein sie im Gleichgewicht haltendes Stück Blei trug, wollte er zu Temperaturbeobachtungen benutzen[2]).

Beachtet man nun, daß eine Reihe von den Versuchen Boyles auch Guericke angestellt hat, daß wir ihnen auch in den Veröffentlichungen der Accademia del Cimento, ja einigen bereits bei Pascal begegnen, dann wird man sich die Frage vorlegen müssen, ob nicht die Arbeiten dieser Forscher in Abhängigkeit voneinander angestellt worden sind und welchem alsdann die Priorität zuzuschreiben sein würde. Was nun zuerst Pascal anlangt, dessen Brief an Périer bereits 1648 veröffentlicht wurde, so hat Guericke von dessen Inhalt 1663 den Versuch auf dem Gipfel des Puy de Dôme gekannt[3]). Wollte er ihn doch durch einen gleichen auf dem „Brocksberg" wiederholen, woran er jedoch verhindert wurde, da der das Barometer tragende Diener stürzte und das Instrument zerbrach[4]). Ob er aber den ganzen Brief kannte, und den darin beschriebenen Versuch mit dem Wasserbarometer, muß bezweifelt werden, da Pascals Schrift wohl kaum weite Verbreitung fand. Er kann auch durch Valerius

[1]) Ebenda Lib. III, Cap. 37, S. 122.
[2]) Ebenda Lib. III, Cap. 37, S. 124.
[3]) Ebenda Lib. III, Cap. 30, S. 113.
[4]) Ebenda Lib. III, Cap. 30, S. 114.

Magnus, von dem er ja zuerst über Torricellis Versuch 1654 hörte, diese Nachricht erhalten haben. In jedem Fall ist die Einrichtung seines Wasserbarometers so eigenartig und so verschieden von der von Pascal ausgeführten, daß seine Originalität anerkannt werden muß, wenn ihm auch nicht die Priorität gebührt. Ähnlich verhält es sich mit Boyles Schriften. Die Nova Experimenta Physico-mechanica wurden am 30. Dezember 1659 vollendet[1]), 1660 gedruckt. Guerickes Experimenta nova aber erreichten ihren Abschluß erst 1663 und erschienen 1672 im Druck. Er kann also Boyles Schrift wohl gekannt haben, wenn er sie auch nicht erwähnt. Dafür sprechen neben dem Titel und der Einrichtung der verbesserten Luftpumpe auch eine Anzahl der angestellten Versuche. Andererseits aber sind die meisten von ihnen in einer so originellen Weise entworfen, daß wohl kaum anzunehmen ist, daß er sie einfach von Boyle übernommen hat. Aber auch hier kommt in den übereinstimmenden Versuchen Boyle die Priorität zu, auch vor denen der Mitglieder der Accademia del Cimento, deren Arbeiten erst im Jahre 1667 bekannt gegeben wurden. Gleichwohl ist auch diesen, die abweichend von denen Boyles und Guerickes in der Barometerkammer angestellt wurden, die Originalität nicht abzusprechen. Torricellis Lehre vom Luftdruck hatte eben eine Lage geschaffen, die mit Notwendigkeit auf solche Folgerungen führte.

Wenden wir uns nun zu den Versuchen, die Boyle und Guericke anstellten[2]), so fanden beide, daß eine Kerzenflamme oder brennende Körper im Rezipienten der Luftpumpe stets erloschen, daß dies aber nach dessen Auspumpen rascher geschah als ohne dies. Guericke verfolgte aber den Versuch weiter, indem er den Brennstoff in einem unten offenen durch Wasser abgesperrten, oben geschlossenen Glasgefäß verbrennen ließ. Er fand so, daß der brennende Körper einen Teil der Luft verzehrte. Man mußte sich wundern, daß dies Boyle entging, da er doch beobachtet hatte, daß, wenn Blei in einer abgeschlossenen Luftmenge kalziniert wurde, es an Gewicht zunahm, während die Luftmenge sich verringerte, wenn man nicht wüßte, daß er die Gewichtsvermehrung der Aufnahme eines wägbaren Wärmestoffes zuschrieb, der von dem Blei aufgenommen sein sollte[3]).

---

[1]) Boyle, Nova Experimenta Physico-mechanica. Roterodami 1669, S. 351.

[2]) Guericke a. a. O., Lib. III, Cap. XII u. XIII, S. 89 ff. — Boyle a. a. O., Experimentum X—XIII, S. 66 ff.

[3]) Kopp, Geschichte der Chemie, Bd. I. Braunschweig 1843, S. 166.

Den Beweis dafür, daß der Schall durch die Luft fortgepflanzt werde, führten beide[1]) auf die nämliche Weise, indem sie ein Uhrwerk im Rezipienten aufhingen und zeigten, daß nach dessen Auspumpen das Schlagen der Uhr nicht mehr gehört wurde, wodurch Boyle auch namentlich den Einwand, den einige von einem Versuche Kirchers genommen hatten, zu entkräften suchte. Der Jesuit hatte in einer Kampane eine Glocke aufgehängt und durch Vermittelung eines starken Magneten daran schlagen lassen; daraus hatte man schließen zu müssen geglaubt, daß nicht durch die Luft, sondern durch die festen Körper der Schall ausgebreitet würde. Wäre das aber der Fall, dann hätte ja das Auspumpen keine Veränderung in der Hörbarkeit des durch die Uhr hervorgebrachten Schalles hervorrufen können. Auch die Wirkung eines Magneten auf eine im Rezipienten auf einer Spitze aufgestellten Magnetnadel hat er untersucht und keine Veränderung durch Auspumpen wahrgenommen[2]). Nach einer Mitteilung Muschenbroeks[3]) soll er dagegen später eine solche Wirkung angenommen haben, als er fand, daß ein im Rezipienten aufgestellter Magnet nach längerem Pumpen ein an ihn gehängtes Stück Eisen fallen ließ, dabei müsse ihm aber entgangen sein, daß das Herabfallen durch die anhaltende Erschütterung verursacht wurde. Das Verhalten des Lichtes im luftleeren Raum haben weder Boyle noch Guericke zu untersuchen für nötig gefunden. Doch weist der letztere den Schluß zurück, den man aus der Tatsache der Sichtbarkeit der Körper im ausgepumpten Rezipienten gezogen hatte, daß dieser doch nicht leer von allen Körpern sein könne und versucht dabei das Verhältnis des leeren Raumes zum Licht oder nach seiner Auffassung zur »Virtus lucens« klarzulegen. Da er unsichtbar und folglich nicht körperlich ist, so kann er am Tage nicht finster erscheinen. „Anders wäre es," sagt er,[4]) „wenn wir uns nicht in der

[1]) Guericke, Experimenta nova etc. Lib. III, Cap. XV, S. 91. — Boyle, Nova Experimenta physico-mechanica. Experimentum XXVII, S. 178.

[2]) Boyle, ebenda Experimentum XVI, S. 85.

[3]) van Muschenbroek, Dissertationes. Ludg. Bat. 1729, S. 64.

[4]) Guericke, ebenda Lib. III, Cap. XIV, S. 91: Aliter esset si non essemus in aëre, nec in hac Tellure, ubi, quando dies est reflexiones luminis eunt, quae quoque spatium illud vacuum in vitro simul undique illustrant. Sin verò essemus longè abhinc constituti in Aethere, ubi nulla Solaris lucis attritio, neque reflexio, sed virtus Solis (id est Lux) liberè transit aetherem: tunc (facie scil. aversà Sole) nihil aliud videremus, quàm tenebras, simulque spatiolum istud in vitro evacuato tenebrosum seu obscurum.

Luft befänden, und auch nicht hier auf der Erde, wo am Tage Reflexionen des Lichtes stattfinden, welche auch jenen leeren Raum im Glase gleichzeitig von allen Seiten beleuchten. Befänden wir uns weit von hier im Äther, wo weder Reibung des Sonnenlichtes noch Reflexion stattfindet, sondern die Sonnenenergie (d. i. das Licht) frei den Äther durchdringt, so würden wir (wenn wir nämlich das Gesicht von der Sonne wegwendeten) nichts anderes wie Finsternis sehen, und ebenso den kleinen Raum im ausgepumpten Glas schattig oder dunkel." Ebenso haben beide durch viele Versuche festgestellt, daß Tiere, auch Fische, im luftverdünnten Raume nicht zu leben vermögen[1]), Versuche übrigens, die 1661 auch Huygens mit seiner später zu beschreibenden Luftpumpe anstellte[2]). Eine Reihe weiterer Versuche ließen Boyle erkennen, daß Nebel (Vapores) und Rauch, die den Rezipienten erfüllten, herabsanken, wenn die Luft ausgepumpt wurde, woraus er schloß[3]), „daß die Ursache ihres Emporsteigens nicht ihre positive Leichtigkeit, sondern das Gewicht der sie umgebenden Luft sei." Daß dagegen die Annahme, daß aus demselben Grund zwei gut aufeinander geschliffene Marmorplatten sehr fest aneinander hafteten, eine Beobachtung, der bereits Zucchi[4]) seine Aufmerksamkeit geschenkt hatte, nicht zutreffend sei, ließen ihn seine Versuche erkennen[5]). Ebenso fand er, daß der Luftdruck nicht für das Aufsteigen von Flüssigkeiten in Filtern und Haarröhrchen verantwortlich gemacht werden dürfe, wie später noch Fabri[6]) und Sturm[7]) und Hooke[8]) behaupteten, was Huygens bereits 1662 in einem Brief an Moray bestätigen konnte[9]). In der Tat war es auch nicht einzusehen, warum der Luftdruck auf die größere Fläche

---

[1]) Guericke, ebenda Lib. III, Cap. XVI, S. 92. — Boyle a. a. O., Experimenta XL, XLI, S. 287, u. 288.

[2]) Huygens, Oeuvres complètes, Bd. III. La Haye 1890, S. 395.

[3]) Boyle a. a. O., Experimentum XXIX, S. 190. Index. Exp. XXIX: Quod causa ascensus eorum non sit positiva eorundem levitas, sed gravitas aëris ambientis.

[4]) Schott, Mechanica hydraulico-pneumatica. Pars I.

[5]) Boyle a. a. O., Experimentum XXXI, S. 200.

[6]) Fabri, Physica seu scientia Rerum corporearum. Lugd. 1669, V. Lib. II. Digress. 1.

[7]) Sturm, Collegium experimentale sive curiosum. Norimbergae 1676. T. I, S. 44.

[8]) Hooke, Micrographia. Lect. XI.

[9]) Huygens, Oeuvres complètes. Bd. IV. La Haye 1891, S. 9.

im weiteren Rohr ein größerer sein sollte, als auf die kleinere im engeren. Weiter beobachtete Boyle, daß warmes Wasser im Rezipienten der Luftpumpe durch genügendes Auspumpen zum Sieden gebracht werden konnte, welche Erscheinung bei kaltem Wasser nicht zu beobachten war. Auch Olivenöl zeigte sie nicht, wohl aber Terpentin[1]). Die Elastizität der Luft schrieb er deren Federkraft zu, die durch Erwärmen verstärkt werden konnte[2]); auch das Wasser hielt er für zusammendrückbar und elastisch[3]). Die Ausdehnung des frierenden Wassers, das sehr feste Gefäße zersprengen kann, wie bereits Cabäus beobachtete, bewies er durch verschiedene Versuche. Um sie zu erhalten, stellte er eine Kältemischung aus Eis und Salz her, welche er sich verflüssigen sah[4]). Die größere Leichtigkeit des Eises glaubte er durch die in ihm eingeschlossenen Luftbläschen erklären zu können.

Nach dem Dargelegten sind es eine überaus große Anzahl Versuche gewesen, welche Boyle angestellt hat. Wir bewundern ebensowohl sein großes experimentelles Geschick, wie die sorgfältige Art, wie er diese Versuche beschrieben hat. Es fehlte ihnen aber eine Einheitlichkeit, die ein gestecktes Ziel durch dessen allseitige Prüfung gegeben hätte. Freilich mußten, nachdem die Möglichkeit der Herstellung eines luftverdünnten Raumes geschaffen war, diese Untersuchungen angestellt werden, wenn sie auch, und dasselbe gilt von einer Anzahl, die Guericke machte, ebenso, einen Fortschritt der Wissenschaft nicht immer ergaben. Ihnen gegenüber sind die Versuche zu stellen, die Boyle zur Aufstellung des ersten, nach ihm genannten Gasgesetzes führten und dessen Ergebnisse er in einer gegen den bereits erwähnten Franziskus Linus gerichteten Schrift, die er der 1662 erschienenen zweiten Auflage seiner Nova Experimenta physico-mechanica zufügte, veröffentlichte[5]). Dort teilt er die Ergebnisse von 25 Beobachtungen der Abnahme des Luftvolumens im kurzen geschlossenen Schenkel eines U-förmigen Rohres mit, in dem er durch Eingießen von Quecksilber in den offenen längeren Schenkel Luft abgeschlossen hatte und durch

---

[1]) Boyle, Nova Experimenta etc. Experimentum XLIII, S. 342.

[2]) Boyle a. a. O., Experimentum VI, S. 46.

[3]) Boyle a. a. O., Experimentum XX, S. 122.

[4]) Boyle a. a. O., Experimentum XXXVIII, S. 281.

[5]) Unter dem Titel: Defensio Doctrinae De Elatere & Gravitate Aëris Propositae à Dno Rob. Boyle in Novis ipsius physico-mechanico Experimentis adversus Objectiones Francisci Lini. Editio postrema. Roterodami 1669.

fortgesetztes Zugießen immer mehr zusammendrückte. Die Ergebnisse seiner Versuche stellte er im fünften Kapitel des zweiten Teiles der angeführten Schrift zusammen, welches die Überschrift trägt[1]): „Zwei neue Versuche über die Messung der elastischen Kraft zusammengepreßter und verdünnter Luft," indem er neben die beobachteten Werte berechnete stellt und die Art, wie er die letzteren erhalten hat, durch die Bemerkung erklärt[2]), daß sie angeben, „wie groß jener Druck nach der Hypothese, die annimmt, daß die Drucke und die Ausdehnungen im umgekehrten Verhältnisse stehen, sein müßte." Nachdem er dann einige erklärende Bemerkungen zugefügt hat, fährt er fort[3]): „Wenn wir

---

[1]) Boyle a. a. O., S. 94. Duo Experimenta nova de mensura Virtutis Elasticae Aëris compressi et dilatati.

[2]) Boyle a. a. O., S. 99. Quanta illa pressio esse debebat juxta Hypothesin, quae supponit, Pressiones & expansiones in proportione esse reciproca.

[3]) Boyle a. a. O., S. 104. Jam vero si iis, quae hactenus sunt à nobis tradita de Aeris Compressione, nonnullas de spontanea ipsius Expansione Observationes addamus,tanto patebit, melius, quantum Mercurialium horum Experimentorum Phaenomena à differentibus dependeant mensuris virium, quas in Aeris Elatere, pro variis ipsius gradibus Compressionis et Laxitatis est deprehendere. Verum, priusquam hoc aggredior Argumentum, lubens agnoscam me Experimenta illa, quae feceram de Expansionis Aëris mensuratione, ad nullam certam Hypothesin reduxisse, quando Ingeniosus ille Dominus Richardus Townley me edocebat, se, ex Physico-Mechanicorum meorum Experimentorum lectione convictum, causam ejus rei esse Aëris Elaterium, conatum fuisse (& utinam alii Viri Ingeniosi in ejusmodi conatibus exemplum ejus imitarentur) supplere, quod ego omiseram, reductionem scilicet ad exactam aestimationem, quantum virtutis Elasticae Aër suâ sponte dilatatus amittit, secundum mensuras suae Dilatationis. Adjiciebat, se coepisse, quae ipsi in hanc rem accurrerant, consignare in quadam Dissertatiuncula, cujus mihi postea monstrare initium voluit, quod debitum in me cupidinem ciet, ut ad finem perducatur. Verum cum nec sciam, nec (ob magnam domiciliorum nostrorum intercarpedium) mihi nunc sit commodum inquirere, num ipsi visum sit, Dissertationem suam nostrae Appendici annectere, vel seorsim, vel plane non, in publicum emittere; cumque necdum, quod quidem sciam commoda Vitra obtinuerit, Tabulam ullatenus accuratam Decrementi virium dilatati Aëris conficere: praesens institutum nostrum nos allicit, eam, quae sequitur, Lectori exhibere, in qua ab eodem Viro juvabar, cujus, ceu Scripti de Rarefactione Autoris, mentionem faciebam Capité praegresso: quem propterea hac occasione commemoro quia, quando primum me audiebat, de Domini Townlei suppositionibus circa proportionem, secundum quam Aëris Elaterium per Dilatationem minuitur, verba facientem, mihi significabat, se anno praecedenti (nec diu post Tractatus mei Pneumatici publicationem) Observationes in eundem sententiam fecisse, quae bene satis eum Domini Townlei Theoria consentire agnoscebat.«

aber dem bisher über die Zusammenpressung der Luft von uns Mitgeteilten noch einige Beobachtungen über deren freiwillige Ausdehnung zufügen, so wird um so mehr hervortreten, wie sehr die Ergebnisse dieser Versuche mit Quecksilber von den verschiedenen Größen der Kräfte abhängen, welche in der Spannkraft der Luft je nach dem Grade ihrer Verdichtung oder Verdünnung bestehen. Ehe ich aber diesen Beweis antrete, möchte ich gern hervorheben, daß mich die Versuche, welche ich über die Messung der Ausdehnung der Luft angestellt hatte, noch auf keine sichere Hypothesen geführt hätten, als der geistvolle Herr Richard Townley mir mitteilte, daß er durch Kenntnisnahme meiner physikalisch-mechanischen Versuche sich überzeugt habe, der Grund dieser Sache sei die Spannkraft der Luft, daß er versucht habe (und möchten doch auch andere geistvolle Männer bei Bestrebungen gleicher Art seinem Beispiele folgen) zu ergänzen, was ich unterlassen hatte, nämlich die Reduktion auf eine exakte Schätzung, wieviel von ihrer elastischen Kraft die freiwillig ausgedehnte Luft nach Maßgabe ihrer Ausdehnung verloren hatte. Er fügte hinzu, daß er begonnen habe, das, was ihm in dieser Sache aufgefallen sei, in einer kleinen Abhandlung niederzulegen, deren Anfang er mir später zeigen wollte; dies erregte in mir den Wunsch, daß er sie zu Ende führen möchte. Da ich aber weder wußte, noch (wegen der großen Entfernung unserer Wohnorte)[1] bald in der Lage war, zu erfahren, ob es ihm gut scheine, seine Abhandlung der unseren im Anhange anzufügen oder für sich oder unvollendet zu veröffentlichen, und da er, wie ich wohl weiß, geeignete Gläser nicht zur Verfügung hatte, um eine ausreichend genaue Zusammenstellung der Abnahme der Kräfte der ausgedehnten Luft zu liefern, so verlockte uns unsere vorhandene Einrichtung, die folgende dem Leser vorzulegen, bei welcher ich die Unterstützung des nämlichen Mannes[2] fand, dessen ich im vorigen Kapitel als Verfasser der Schrift über die Verdünnung Erwähnung tat und dessen ich deshalb gedenke, weil er, als er zuerst durch meine Mitteilung von des Herrn Townleys Annahme über das Verhältnis, nach welchem die Spannkraft der Luft durch Ausdehnung vermindert wird, hörte, mir zeigte, daß er im vergangenen Jahre (nicht lange nach Veröffentlichung meiner pneumatischen Schrift) Beobachtungen in demselben Sinne gemacht

[1]) Townley wohnte im Orte Townley in Lancashire.

[2]) Wohl Henry Power, Dr. med., der seit 1663 Mitglied der Royal Society in London war und 1673 starb.

habe, welche in genügend genauer Übereinstimmung mit der Theorie des Herrn Townley gefunden worden seien."

Aus der mitgeteilten Stelle glaubte man schließen zu müssen, daß nicht Boyle, sondern sein „Schüler" Townley es gewesen sei, dem man die Fassung des nach dem ersteren genannten Gesetzes verdanke. Von Townley wissen wir nur, daß er an dem Ort gleichen Namens als Privatmann wohnte und, wie Boyle andeutet, wohl hauptsächlich durch das Studium seiner Schriften zu seinem Schüler geworden sein dürfte. Daran aber, daß die die Boyleschen Versuchsergebnisse zusammenfassende Hypothese von ihm herrühre, ist nicht zu denken, da Boyle sie bereits, wenigstens für die Versuche mit verdichteter Luft, ausspricht, ehe er Townleys erwähnt, nachdem er dies aber getan hat, nur noch von den Versuchen mit verdünnter Luft redet und ihre Ergebnisse vorführt, dabei besonders hervorhebend, daß nicht Townley, sondern er selbst diese Versuche angestellt hat. So dürfte dem ersteren wohl nur das Verdienst zukommen, darauf aufmerksam gemacht zu haben, daß das für Luftverdichtung gefundene Gesetz auch für Luftverdünnung gelte, dieses selbst, sowie die es auf die letztere ausdehnenden Versuche[1]) aber gehören Boyle[2]).

Der von der zusammengepreßten Luft ausgeübte Druck hatte übrigens damals bereits eine wichtige Anwendung in der Technik gefunden. Zu der nämlichen Zeit, zu welcher Guericke mit seiner Luftpumpe hervortrat, hatte der 1670 verstorbene Nürnberger Zirkelschmidt Hans Hautsch, ein „inventiöser und künstlicher" Mann[3]), der auch eine Flugmaschine erfunden haben soll[4]), den Heronsball als Windkessel der Feuerspritze zugefügt und diese Verbesserung am 1. Mai 1655 öffentlich angekündigt[5]). Den vollen Nutzen zur Bekämpfung der

[1]) Boyle a. a. O., S. 106.

[2]) Vgl. auch Gerland, Die Entdeckung der Gasgesetze und des absoluten Nullpunktes der Temperatur in Gedächtnisschrift für Georg W. A. Kahlbaum. Herausgegeben von P. Diergardt, Leipzig und Wien 1909, S. 350.

[3]) Joh. Neudörffer, Nachrichten von den Nürnberger Künstlern, so innerhalb hundert Jahren in Nürnberg gelebt haben. 1546 nebst der Fortsetzung von Gulden. Nürnberg 1828.

[4]) Nach Georg Andrea Agricola (1717) vgl. Feldhaus, Luftfahrten einst und jetzt. Berlin 1908, S. 39.

[5]) Magirus, Das Feuerlöschwesen in allen seinen Teilen. Ulm 1877, S. 451. Vgl. Gerland, Die Erfindung der Feuerspritze mit Windkessel. Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen 1883. Bd. XII, Heft I, Nr. 133.

Schadenfeuer konnte aber der verbesserte Apparat der Feuerwehr des alten Roms erst leisten, als ihm kurz darauf der 1637 zu Gorkum geborene, 1712 verstorbene holländische Maler Jan van der Heyden, nachdem er 1669 die Straßenlaternen Amsterdams verbessert hatte, den Spritzenschlauch zufügte. Sein 1690 erschienenes Werk über die Feuerspritzen, aber auch seine und seines gleichnamigen Sohnes Anzeigen über die von ihnen gefertigten Schläuche haben wohl das große Interesse, das Leibniz ihnen entgegenbrachte, hervorgerufen. Wo er konnte, hat er sie dringend empfohlen[1]). Welches Aufsehen die neue Vorrichtung damals machte, geht aus dem Reisebericht von Monconys hervor, der gegen 1660 die erste in Antwerpen sah.

h) Die Virtutes mundanae und die elektrischen Versuche Guerickes.

Von den »Virtutes mundanae« handelt das vierte Buch des Guerickeschen Werkes. Man möchte geneigt sein, den Ausdruck in Weltkräfte zu übersetzen, aber man würde damit schwerlich den Sinn dessen treffen, was der Magdeburger Bürgermeister darunter verstanden wissen will. „Diese Virtutes," sagt er[2]), „sind weder Substanzen noch Akzidenzen; sie sind vielmehr Ausflüsse der Weltkörper, welche diesen Körpern innewohnen und aus ihnen ausströmen. Doch ist ein Unterschied zu machen, inwieweit sie einem Körper von Natur innewohnen und aus ihm ausströmen und inwieweit sie in einen anderen einströmen und von ihm aufgenommen werden. Denn für den, in welchen sie einströmen, sind sie Akzidenzen, für den aber, aus welchem sie ausfließen, sind sie eingeborene Kräfte, welche nicht ohne den größten Verlust oder die Vernichtung der Form fehlen können." Es gibt körperliche und unkörperliche Virtutes. Eine körperliche Virtus ist ein zarter Ausfluß eines Weltkörpers, der in seiner Umgebung bleibt und körperlich heißt, weil er feste Körper wie Glas oder Metalle nicht durch-

---

[1]) O. Klopp, Die Werke von Leibniz I. Reihe, 10. Bd. Hannover 1877, S. 451.

[2]) Guericke, Experimenta nova etc. Lib. IV, Cap. I, S. 125. Haec virtutes neque sunt Substantiae neque Accidentia, sed sunt Effluentia Corporum Mundanorum, quae istis corporibus insunt & ex eis effluunt. Differentia tamen habenda est quatenus Corpori alicui originaliter insunt ex eoque effluunt: & quatenus in aliud influunt ab eoque recipiuntur; Nam illius in quod influunt sunt Accidentia: ex quo autem effluunt, ejus sunt innatae Virtutes, quae non sine maximo detrimento seu formae interitu, abesse possunt.

dringen kann. Zu ihnen gehört die Luft,; durch den Geruchsinn aber können sie wahrgenommen und unterschieden werden. Der unkörperlichen aber gibt es vielerlei und verschiedene, die von uns erkennbaren stammen aus der Erde und der Sonne. Aus ersterer stammt die Virtus impulsiva, die die Tatsachen des Beharrungsvermögens erklären soll[1]); auf ihr beruhen die Erscheinungen eines an einem Faden befestigten im Kreise geschwungenen Steines, des Ansteigens von Steinkugeln, welche in einer rasch rotierenden Metallschale sich befinden, die Bewegungen der Planeten und ihrer Trabanten, aber auch die Pendelschwingungen[2]). Die Virtus conservativa bewirkt, daß alle irdischen Körper zu einer entsprechenden Einheit zusammenfließen; Anziehung kann man sie nicht nennen, sondern Verlangen (Appetitus), Vereinigung (Conjunctio, Unio) oder Selbsterhaltung (Conservatio sui ipsius)[3]). Die Virtus expulsiva der Erde wiederum bewirkt eine Abstoßung, wie sie an einer geriebenen Schwefelkugel, die eine Feder anzieht und wieder abstößt, beobachtet werden kann. In ähnlicher Weise erklärt sich die Bewegung der Planeten um die Sonne, die ihrer Satelliten um jene[4]). Die Virtus dirigens ist die Ursache der magnetischen Erscheinungen[5]), die Virtus vertens die der Rotation eines Körpers um seine Achse[6]), die Virtus sonans die des Schalles[7]), die Virtus Calefaciens die der Feuer- und Wärmewirkungen[8]), die Virtus Lucens derjenigen des Lichtes[9]). Auf der Virtus Calefaciens beruhen die merkwürdigen Erscheinungen der Glastränen, die 1661 Prinz Ruprecht von der Pfalz, der Sohn des Winterkönigs (1619 bis 1682) nach England gebracht hatte. Sie scheinen in deutschen Glashütten zuerst hergestellt worden zu sein, im Mecklenburgischen soll man sie bereits 1625 gehabt haben, nach Reyher besaß bereits 1637 ein Glasermeister in Hamburg solche. Gesehen hat er diese Gebilde aber erst 1656 in Leiden, und in dasselbe Jahr fallen die Versuche französischer Gelehrter, so Gassendis und Monconys, die die Aufklärung des merkwürdigen Verhaltens, durch Abbrechung der Spitze in viele kleine Stückchen zu zerfallen, während der bauchige Teil Hammerschläge aushielt, ohne

[1]) Ebenda Lib. IV, Cap. II, S. 126. — [2]) Ebenda Lib. IV, Cap. III u. IV. S. 128 u. 131. — [3]) Ebenda Lib. IV, Cap. V. S. 132. — [4]) Ebenda Lib. IV, Cap. VI, S. 133. — [5]) Ebenda Lib. IV, Cap. VII, S. 134. — [6]) Ebenda Lib. IV, Cap. IX, S. 137. (Infolge eines Druckfehlers ist es als Cap. XIII bezeichnet.) — [7]) Ebenda Lib. IV, Cap. X, S. 138. — [8]) Ebenda Lib. IV, Cap. XI, S. 140. — [9]) Ebenda Lib. IV, Cap. XII, S. 142.

zu zerbrechen, zum Zwecke hatten[1]). Guericke glaubt die Beobachtungen der „gläsern Sprinckhornlein", wie er sie nennt, folgendermaßen erklären zu können[2]): „Daher sind jene Tränen oder Glastropfen, welche neuerdings in den Glashütten hergestellt werden (von denen ich öfter hörte, die ich aber niemals sah), indem sie glühend in kaltes Wasser tropfenweise fallen gelassen werden, außen zwar wie Glas fest und glatt, innen aber leer oder porös. Der Grund ist der, daß infolge des Eindringens der Wärme alle Glasteilchen gelöst und porös sind und der Körper deshalb ausgedehnt ist; im kalten Wasser aber erhärtet er sofort, und die Glasmaterie kann wegen der Erhärtung sich nicht so rasch (wie es sonst im Laufe der Zeit geschieht), auswölben und vereinigen; unterdessen schlüpft die Wärme als unkörperliche »virtus« heraus und läßt die kleinen Räume, die sie vorher anfüllte, leer und die Teilchen des ganzen Körpers im Innern gelöst zurück. Wenn dann auf solche Art der Tropfen zerbrochen wird, so dringt die äußere Luft mit Gewalt und Getöse in diese leeren Räume ein und verwandelt alle Teilchen dieses Körpers, welche vorher durch die Wärme gelöst waren, in Staub."

In Anbetracht des großen Interesses, welches noch die Folgezeit der merkwürdigen Erscheinung entgegenbrachte, schien es angezeigt, die obige Stelle im Wortlaut mitzuteilen und dies um so mehr, als sie geeignet ist, ein klares Bild von Guerickes Anschauungsweise zu geben. Ergibt sich doch daraus, eine wie wenig klare Vorstellung Guericke vom Wesen seiner unkörperlichen »Virtutes« hatte, wenn er durch sie einen Körper auflösen läßt. Andererseits aber ersieht man die Stärke einer Position, die auf einer sich streng an das Experiment anschließenden

---

[1]) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 412.

[2]) Guericke, Experimenta nova etc. Ebenda. Unde Lachrimae illae sive guttae Vitri, noviter in officinis vitriariis praeparatae (de quibus saepius audivi sed nunquam vidi), dum ferventes in aquam frigidam stillando dimittuntur, externe quidem, secundum vitri naturam, solidae laevigataeque, interne verò rarae vel porosae existunt. Ratio est, quia ob ingressum calorem, omnes vitreae partes sunt dissolutae, porosae & corpus inde dilatatum; in aqua verò frigida statim obduratur, nec vitrea illa materia propter duritiem se ita (uti aliàs successu temporis fit) tam cito concamerare vel consolidare potest; interea calor, ut virtus incorporea, elabitur, & spatiola ista ab eo antea repleta, vacua, totiusque corporis partes intus dissolutas reiinquit. Deinde quando rumpitur ejusmodi Stilla, tunc aër externus cum gravitate simul & strepitu, viruit in spatiola ista vacua partesque hujus corporis omnes, per calorem antea dissolutas, in pulverem redigit.

Anschauung ruhte. Trotz des gerügten Widerspruches gibt seine Erklärung eine ebenso gute Darstellung des Vorganges wie diejenige manches modernen Forschers von Erscheinungen, die als überraschend neue und mit den geltenden Lehren nicht zu vereinigende Tatsachen auftreten. In noch höherem Maße wiederholte sich dieses bei seinen elektrischen Versuchen, die er nur deshalb anstellte, weil dabei ganz besonders die genannten »Virtutes« auftreten. Die Virtutes haben in der Folgezeit nicht die geringste Beachtung gefunden, um so mehr die Versuche mit der Schwefelkugel, mit deren Hilfe er sie nachweisen zu können glaubte. Um dieser willen aber hat man in ihm den Erfinder der Elektrisiermaschine und einer Reihe elektrischer Lehren sehen wollen, die erst durch die Ergebnisse mannigfacher Arbeiten der Folgezeit eine solche Deutung möglich machten. Dies wird sich durch die Schilderung der nun noch zu besprechenden Versuche Guerickes, zu der nun überzugehen ist, leicht erweisen lassen.

Schon die Überschrift des Kapitels der Experimenta nova deutet darauf hin. „Von dem Versuch, bei welchen die wichtigsten der aufgezählten Virtutes durch Reibung in einer Schwefelkugel hervorgerufen werden können," lautet sie[1]). Die Kugel stellte er her, indem er einen Glaskolben von der Größe eines Kinderkopfes mit fein gestoßenem Schwefel füllte und diesen dann schmolz, nach dem Erkalten aber den Kolben zerbrach, die erhaltene Kugel aber durchbohrte und auf einer eisernen Achse befestigte. Drückte er mit der Hand oder dem Arm auf sie, so erhielt sie die »virtus impulsiva«, da sie hinsichtlich ihrer Schwere den Metallen nahe kommt. Die »virtus conservativa« glaubt er nachweisen zu können, indem er über die Kugel mit der trockenen Hand zwei- bis dreimal hinstrich. In ein dazu geeignetes Gestell gelegt, zog sie nun kleine Stückchen Metallfolie, aber auch Luft und Rauch an und machte Wassertropfen anschwellen. Jene Stückchen hafteten an ihr und wurden mit von ihr herumgenommen, wie Tiere oder sonstige Gegenstände an der Erdoberfläche von der Erde. Indem sie ebenso leichte Körper wie eine Flaumfeder anzog, nach der Berührung aber wieder abstieß und die Feder an jeden beliebigen Ort, sogar „uff Jemandes Nase", wie er an Leibniz schrieb[2]), durch geschickte Handhabung

[1]) Ebenda Lib. IV, Cap. XV, S. 147: De Experimento, quo praecipuae hae Virtutes enumeratae per attritum in globo sulphureo excitari possunt.

[2]) Et quò alicujus naso adhaereat.

der Kugel bringen konnte, ergab sie die »Virtus expulsiva«. Einer Spitze näherte sich das Federchen, ebenso einer brennenden Kerze auf Handbreite, begab sich dann aber eilends zur Kugel zurück, um bei ihr „gleichsam Schutz zu suchen". Dabei wandte sie der Kugel, in deren Nähe, wie der Mond der Erde, stets dieselben Teile zu. Zwischen der Kugel und dem ihr entgegengehaltenen Finger flog die Feder mehrmals hin und her. Wurde ein Leinenfaden so aufgehangen, daß sein Ende sich in der Nähe der Kugel befand, so wich er dem ihm genäherten Finger aus. Befestigte man ihn an einem zugespitzten Stück Holz und ließ ihn lang herabhängen, so legte sich sein unteres Ende an die in der Nähe befindlichen Gegenstände an, so oft man die geriebene Kugel der Spitze des Holzstückes näherte. Die »Virtus dirigens« ließ sich freilich an der Kugel nur beobachten, wenn man einen Magneten hineinbrachte, und ebenso versagte sie hinsichtlich der »Virtus vertens«. Die »Virtus Soni« aber wohnte ihr inne, denn wenn man das Ohr an die geriebene brachte, hörte man ein Rauschen und ein Knistern; und nicht minder die »Virtus Calefaciens« und die »Virtus lucens«. Im dunkeln Zimmer leuchtete sie infolge der letzteren, hinsichtlich der ersteren aber meinte er[1]): „Wie die Virtus Calefaciens durch kräftige Reibung in jedem Körper erregt werden kann, so daß wenn die Hitze sehr groß wird, endlich Feuer entsteht oder herausspringt, so kann man leicht erraten, daß diese virtus calefaciens auch in dieser Kugel durch fortgesetztes kräftiges Reiben erzeugt werden kann." Daraus hat man schließen zu müssen geglaubt, daß Guericke als erster den elektrischen Funken gesehen habe[2]). Daß das aber nicht der Fall gewesen ist, ergibt sich aus den Briefen, die er mit Leibniz gewechselt hat. 1671 hatte ihm der damalige kurmainzische Rat geschrieben, ob es wahr sei, daß er eine frei in der Luft schwebende Kugel durch Hinwendung gegen eine zweite mittels einer neuen Art von Magnetismus herumführen könne[3]), und Guericke hatte geantwortet, das müsse wohl die Schwefelkugel sein. Zugleich

---

[1]) Ebenda Lib. IV, Cap. XV, S. 149. Sicut Virtus Calefaciens, per Attritionem duram in quovis corpore excitari potest, ut si calor fiat intensissimus, ignis tandem gignatur vel excutiatur: Ita facilè quilibet conjecturâ consequetur, hanc virtutem calefacientem quoque in hoc globo per continuum & durum attritum produci posse.

[2]) Hochheim, O. v. Guericke als Physiker. Magdeburg 1870, S. 16.

[3]) Die philosophischen Schriften von G. W. Leibniz, herausgegeben von Gerhardt. I. Bd. Berlin 1875, S. 97.

hatte er ihm eine solche übersandt, nebst einem Päckchen für die Versuche geeigneter Flaumfedern, die noch in der Königlichen Bibliothek in Hannover vorhanden sind. Mit dieser hatte Leibniz sogleich Versuche angestellt, und dabei hatte er als der erste den elektrischen Funken erhalten. Dies teilte er in einem uns leider nicht erhaltenen Briefe mit, den Guericke am 1. März 1672 folgendermaßen beantwortete[1]): „Desselben gar angenehmes vom 31. Jan: hat mich die Ankunft der Schwäffelkugel verständigett vnd daß sie wegen anderer geschäffte noch nicht rächt probiret werden können; doch hette er die Wärme und Funken gar wohl gespüret usw. Nuhn weiß ich nicht, ob etwa ein mißverstand hierbey, weil mihr von Wärme bei der Kugel nichts bewust, die Funken aber müßten etwa von dem leuchten zu verstehen seyn, wan man Sie mit trucken handen bey der nachtt oder im finstern gemach bestreichet, so gibtt Sie, wie der Zucker leuchtung von sich." Wenn nun Leibniz Wärme beobachtete, so kann dies nur an der reibenden Hand gewesen sein, er muß also die Schwefelkugel viel stärker gerieben haben, als dies Guericke tat, und so ist ohne weiteres klar, daß er auch Funken beobachtete, die bei der durch diesen vorgeschriebenen Behandlung noch nicht auftraten.

Aus dem Datum des Briefes, in dem Leibniz bei Guericke wegen der Schwefelkugel anfragt, wird man schließen dürfen, daß sie in die Zeit von 1654 bis 1663 fallen, in welcher er nur während einiger Monate des Jahres 1659 von Magdeburg abwesend war[2]). Als er dann mit Leibniz in Briefwechsel trat, war sein Buch zwar im Manuskript fertig, aber noch nicht gedruckt. Er versäumte aber nicht, diesen, soweit es für die Versuche mit der Schwefelkugel notwendig schien, mit dem Inhalt namentlich des Abschnittes, der die »Virtus mundanae« zum Gegenstand hatte, bekannt zu machen. Diese fanden freilich nicht den Beifall des Philosophen. „Allein es ist für allen Dingen acht zu haben," schreibt er ihm vielmehr[3]), „daß man nicht nach art der Scholasticorum etwa sich solcher worth bediene, so wohl gesagt, aber nicht ausgelegt oder verstanden werden können. Denn wie mein Hochg. Hr. hochvernünfftig ermessen kann, so ist was virtus mundana sey, so wenig ver-

[1]) Ebenda S. 107.

[2]) Gerland, Über Otto von Guerickes Leistungen auf dem Gebiete der Elektrizitätslehre. Elektrotechnische Zeitschrift Bd. IV, 1883, S. 249.

[3]) Gerhardt, Die philosophischen Schriften von G. W. Leibniz. I. Bd. Berlin 1875, S. 97.

ständlich, wenn keine nehere erclärung dazu komt, als was da sey forma substantialis, sympathia et antipathia, vis magnetica, species immaterialis, und dergleichen mehr. Und ob Mein Hochg. Hr gleich mit einem schöhnen Experiment solche virtutes mundanae beweiset, so sind sie doch damit nicht ercläret, denn es ebenso tunckel bleibt, woher sowohl in globo illo ex mineralibus composito als in mundo solche virtutes entstehen." Treffender kann man Guerickes Lehre von den Virtutes mundanae nicht darstellen und richten, die sogar das Gewicht der Erde aus der Welt zu schaffen unternahm. So hat ihn diese vorgefaßte Meinung um die Deutung seiner schönen Versuche gebracht, die andern Forschern vorbehalten blieb, und es ist nicht gerechtfertigt, wenn man ihn als Entdecker der Leitung der Elektrizität und der elektrischen Induktion feiern möchte. Ja auch die Erfindung der Elektrisiermaschine muß ihm vorenthalten werden, sein Versuch war eben nichts anderes als der von Gilbert bereits angestellte, nur in eine zweckmäßigere Form gebracht. Während demnach die Versuche mit der Luftpumpe das ungeteilte Interesse der Mitwelt erregten, blieben seine »Virtutes mundanae« und die zu ihrem Nachweis angestellten elektrischen Versuche fast unbekannt. Aber wenn ihn auch nach dem Zeugnis seines Sohnes seine Versuche 20 000 Taler gekostet haben, so waren sie diesen Aufwand wohl wert, denn sie bewiesen, daß richtig ausgeführte Experimente die Wissenschaft unter allen Umständen fördern müssen, selbst wenn ihre Deutung zu schwerwiegenden Bedenken Veranlassung gibt.

Auch Boyle hat einige elektrische Versuche angestellt[1]). Er zeigte, daß der an einem Faden aufgehängte geriebene elektrische Körper einen ungeriebenen nicht nur anziehe, sondern auch von ihm angezogen würde, und daß dieses nicht nur im lufterfüllten, sondern auch im luftleeren Raume zu beobachten sei. Auch machte er auf die Abhängigkeit der Elektrisierung von der Beschaffenheit der Oberfläche des Körpers aufmerksam, die er rein, warm und glatt zu nehmen empfahl. Ebenso beobachtete er das Leuchten geriebener Körper im Dunkeln[2]) — er nahm insbesondere einen Diamanten. Da er aber das Wesen der Elektrizität in einem klebrigen Effluvium der Körper sah, so haben auch seine Lehren dessen Erkenntnis kaum gefördert.

---

[1]) Boyle, De mechanica electricitatis productione. Genevae 1694.

[2]) Boyle, Experimenta et considerationes de Coloribus. Roterodami 1671, S. 506 ff.

i) Die Gründung der Akademien.

Wir haben gesehen, daß Porta eine Anzahl Gleichgesinnter zu einem Verein, die Accademia dei Oziosi, zusammengebracht hatte, deren Ziel die Anstellung naturwissenschaftlicher Versuche war. Hatte sie sich auch eines langen Bestehens nicht zu erfreuen gehabt, so hatte sie doch bald Nachfolger gefunden. Die Accademia Consentina hatte sich die Bekämpfung der Peripatetiker zum Zweck gesetzt, mit ähnlichen Zielen der gemeinsamen Übung und Förderung der Wissenschaften und nicht nur derjenigen, welche sich mit der Natur beschäftigten, hatten sich in vielen Städten Italiens Akademien gebildet. Klaute zählt deren im Jahre 1722 nicht weniger als 72 auf[1]), „welche allerseits ihre Emblemata mit sinnreichen Überschriften haben und allerhand curieuse tractätlein geben, so aber in Teutschland selten zum vorschein kommen". Die berühmteste von ihnen wurde die 1605 vom Fürsten Cesi gestiftete, noch bestehende Accademia dei Lyncei, welche Galilei zu ihrem Mitgliede machte.

Derartige Einrichtungen kannte man im Altertum nicht. Das alexandrinische Museum, das Poggendorff[2]) wenigstens im Anfange seines Bestehens für eine solche halten möchte, war wohl eine Vereinigung von Gelehrten zur Erleichterung ihrer Arbeiten, ohne einen weiteren Zusammenhang zwischen ihnen herzustellen, während es später eine hohe Schule wurde. Eher noch möchte man die Vereinigung der Gelehrten, die Karl der Große an seinem Hofe versammelte, um deswillen eine Akademie nennen, weil der Frankenfürst, der in ihrem Kreise als ihresgleichen auftrat, sie zu gemeinschaftlichen Sitzungen versammelte. Die Berufung von Gelehrten an den Hof eines Fürsten aber begründete keineswegs eine Akademie, da ja deren Hauptmerkmal, das des gemeinsamen Arbeitens, fehlte. Die italienischen Akademien aber gewährten ihren Mitgliedern den doppelten Vorteil, einmal indem sie einen Schutzwall bildeten bei Konflikten, in welche ihre Mitglieder mit herrschenden Meinungen gerieten, und zum anderen, indem sie dafür sorgten, daß ihre Arbeiten bei Wahrung der Priorität in weiteren Kreisen bekannt wurden. Zwar ließ ihre Grün-

---

[1]) Klaute, Diarium Italicum oder Beschreibung derjenigen Reyse, welche der durchlauchtigste Fürst und Herr, Herr Carl Landgraf zu Hessen usw. am 5. Dec. 1699 angetreten. Caßel 1722.

[2]) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 346.

dung die Anwendung von Anagrammen, die beides ebenfalls zu erreichen suchte, nicht sogleich außer Übung kommen, auch blieben Männer, wie Mersenne, Boulliau und andere, welche zu diesem Zwecke einen ausgebreiteten Briefwechsel unterhielten, noch lange in allseitiger Tätigkeit, aber der Vorteil solcher Akademien fiel doch zu sehr in die Augen, als daß man dem von den Italienern gegebenen Beispiel nicht gefolgt wäre, und so waren es deutsche Ärzte, welche am frühesten auf Einladung des Bürgermeisters und Stadtphysikus von Schweinfurt Joh. Lorenz Bauch (1605 bis 1665) dies taten, indem sie 1651 eine wissenschaftliche Gesellschaft gründeten, welche 1670 mit der Ausgabe von Ephemeriden begann und 1672 vom Kaiser Leopold I. mit Privilegien versehen wurde. Seitdem diese vom Kaiser Karl VI. bestätigt worden waren, führte sie den Namen der Academia Caesareo-Leopoldina-Carolina, und die Veröffentlichungen der noch bestehenden, die unter dem Wahlspruch »Nunquam otiosus« erscheinende Zeitschrift „Leopoldina" sowie ihre größere Abhandlungen enthaltenden Acta, nehmen nach wie vor einen ehrenvollen Platz in der naturwissenschaftlichen Literatur ein.

Dasselbe Bedürfnis des Arbeitens mit vereinten Kräften und des Austausches dieser Arbeiten hatten um dieselbe Zeit in Frankreich und England die Männer der Wissenschaft, deren Lebensstellung ihnen die damals lediglich ideale Beschäftigung damit gestattete. In Paris hatten sich verschiedene Gesellschaften gebildet, die Literaten vereinigten sich bei Conrart, die Mathematiker bei Mersenne, später bei de Monmor, bei dem Gassendi seine letzten Lebensjahre zubrachte und den Huygens als »Maître des Requestes« bezeichnet[1]). 1662 wurde die »Académie Française« gegründet und bald darauf durch Ludwigs XIV. Minister Colbert zur Académie Royale des sciences erweitert. Zum Organ ihrer Veröffentlichungen benutzten ihre Mitglieder, die vom Könige ernannt wurden und ein Jahresgehalt bezogen, anfangs das seit 1665 erscheinende Journal des Savants, seit 1700 aber gibt die Akademie eigene Memoiren heraus, welche nebst den Comptes rendus hebdomadaires noch jetzt erscheinen. Zu ihren ersten Mitgliedern gehörten Auzout, Buot, Carcavi, Frénicle, Huygens, Picard und de Roberval, für deren experimentelle Arbeiten der Staat reiche Mittel zur Verfügung stellte.

---

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, T. I. La Haye 1888, S. 399.

In England waren 1649 auf Anregung des zu Neuhausen bei Worms 1605 geborenen und als Diakonus des Bischofs von Exeter 1690 verstorbenen Theodor Haak eine Anzahl für die Wissenschaft begeisterter Männer zu dem „philosophischen Kollegium" zusammengetreten, welches sich nicht ohne Grund das „unsichtbare" nannte. Denn da ihre Mitglieder den Tories angehörten, Cromwell aber das Staatsruder führte, so war eine möglichste Verborgenheit der Anhänger des hingerichteten Königs ihr bester Schutz. Nach der Restitution aber zog sie König Karl II. aus dieser Verborgenheit hervor und gab ihr 1662 den Rang der „Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften" (Royal Society of Sciences), die seit 1666 ihre berühmten Transactions herausgibt. Ihr erster Präsident war Sir Robert Moray (Murray) 1610 bis 1673)[1], zu ihren ersten Mitgliedern gehörten Boyle und Hooke. Sie wählte ihre Mitglieder selbst, und diese mußten aus eigenen Mitteln die Kosten ihrer Arbeiten bestreiten. So war namentlich in der ersten Zeit ihres Bestehens nur vermögenden Männern der Eintritt möglich. Betrug doch die beim Eintritt zu entrichtende Summe 2 Pfund Sterling, während jedes Mitglied als wöchentlichen Beitrag einen Schilling zu entrichten hatte. So konnte Newton ihr nur beitreten, nachdem ihm diese wöchentliche Zahlung erlassen worden war.

Gegenüber diesen mit reichen Mitteln ausgestatteten Akademien konnte die Vereinigung deutscher, an weit voneinander entfernten Orten wohnender Ärzte nur eine bescheidene Rolle spielen. Nicht so die deutsche Wissenschaft! Besaß sie doch in Leibniz einen Mann, der nach Friedrichs des Großen Ausspruch für sich allein eine Akademie ersetzte. Er hat denn auch in der Republik der Wissenschaften Deutschland wirksam und würdig vertreten, aber er war auch unablässig bemüht, sein Vaterland, das noch aus den Wunden, die ihm der Dreißigjährige Krieg geschlagen hatte, blutete, an den Vorteilen des wissenschaftlichen Fortschrittes der Nachbarländer teilnehmen zu lassen. Angeregt durch ihn gründete 1682 der Leipziger Professor Mencke (1644 bis 1701) eine Zeitschrift nach dem Muster der Akademieschriften, die Acta Eruditorum, die ein Jahrhundert hindurch erschienen, dann aber aus Mangel an Teilnahme ihr Erscheinen einstellen mußten. Leibnizens Streben, die Wissenschaft soviel nur immer möglich zu fördern, genügte aber die Gründung einer Zeitschrift nicht. Er hatte zu sehr den Vorteil,

[1] Huygens, Oeuvres complètes, T. III. La Haye 1890, S. 260, Note 1.

den eine Akademie für die Förderung der Wissenschaften, namentlich wenn sie staatlich unterstützt wurde, haben konnte, kennen gelernt, als daß er nicht danach hätte streben sollen, neue ins Leben zu rufen. So ist seiner Anregung die Gründung der Kgl. preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin im Jahre 1700 zu danken, deren erster Präsident er wurde, und welcher ihres Gründers immer auf das Ganze gerichtetem Streben entsprechend unter andern die Aufgabe ans Herz gelegt wurde, die Einführung der Feuerspritze mit Windkessel an recht vielen großen und kleinen Orten zu bewirken. So suchte der nämliche 1695 den Landgrafen Karl von Hessen-Kassel ebenfalls zur Stiftung einer Akademie zu bewegen[1]). Mißlang dieser Versuch auch, so hatte Leibniz dagegen die Freude, daß seine Ideen in Petersburg mehr Anklang fanden, und im Jahre 1725 die dortige Akademie der Wissenschaften ins Leben trat. Andere Staaten folgten, wenn auch mehr oder weniger rasch nach. Von noch bestehenden Akademien, die durch ihre Veröffentlichungen die Wissenschaft in hervorragender Weise gefördert haben, seien noch die 1750 gegründete gelehrte Gesellschaft von Göttingen, sodann die Münchener, die Brüsseler und die Wiener Akademie der Wissenschaften erwähnt, die 1759, 1769 und 1848 ins Leben getreten sind[2]).

k) Die Accademia del Cimento und ihre Arbeiten.

Kehren wir nun von diesem gelegentlichen Ausblick in das 17. Jahrhundert zurück, so haben wir noch einer Akademie, die noch nicht erwähnt wurde, zu gedenken, da ihre Arbeiten für die Geschichte der Physik eine ganz hervorragende Bedeutung gewonnen haben, der Accademia del Cimento, also der Akademie für experimentelle Untersuchungen.

Nach Galileis Tode waren es namentlich Torricelli, Cavalieri und Viviani gewesen, die des Meisters theoretische Untersuchungen weiter zu führen bestrebt waren, andere seiner Schüler hatten auch die experimentelle Seite seiner Arbeiten weiter ausgebildet. Dieser Aufgabe unterzog sich zuerst Galileis höchstgestellter Schüler, der Großherzog Ferdinand II. von Toskana, und zwar waren es namentlich meteorologische Aufgaben, die den fürstlichen Forscher be-

---

[1]) E. Gerland. Ein noch ungedruckter Brief Leibnizens XXVI. und XXVII. Bericht des Vereines für Naturkunde in Cassel, 1880, S. 50.

[2]) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 464.

schäftigten. Vor allen Dingen benutzte er die Form des Thermometers, welche gegenwärtig die allein gebräuchliche ist und die damals den Namen des Florentiner Thermometers erhielt, im Gegensatz zu dem belgischen, wie nunmehr die verschiedenen Formen des Drebbelschen oder des einteiligen Thermometers genannt wurden. Freilich bestand auch sein Apparat nur aus einem Teil, einem Glasrohr mit angeblasener Kugel, als thermometrische Substanz aber diente nicht Luft, sondern Weingeist. Wann der Großherzog diese Form des Thermometers zuerst anwandte, wissen wir nicht, und es ist deshalb auch nicht nachzuweisen, ob er selbständig auf sie kam. Ist es doch sehr möglich, daß er von dem Instrument gehört hatte, welches Rey in einem Brief vom 1. Januar 1632 an Mersenne schilderte[1]), und welches die erste Beschreibung des Florentiner Thermometers enthält. Daß er die Ausdehnung von Wasser zur Beobachtung von größerer oder geringerer Wärme benutzen wollte, sagt er ausdrücklich, doch läßt uns der Brief darüber im Zweifel, ob er das Rohr des Instrumentes geschlossen oder offen gelassen hatte. Das erstere war aber bei des Großherzogs Instrument sicher der Fall; er hatte die geschicktesten Glasbläser, der Name Giuseppe Morianis als des tüchtigsten von ihnen ist uns erhalten, zu seiner Verfügung und seine zum Teil noch vorhandenen Apparate trugen von dunkelm oder weißem Emailglas aufgeschmolzene Glaströpfchen. Nach Viviani und dem 1618 geborenen Schüler Cavalieris Urbano Davisi befanden sich bereits 1654 solche Instrumente im Besitze des Großherzogs. Aber auch die geschlossenen, zum Teil mit Luft gefüllten Kügelchen, die wir bereits gelegentlich des kartesianischen Tauchers erwähnt haben, benutzte der Großherzog zur Bestimmung von Temperaturen. Deren waren in einem mit Alkohol gefüllten Gefäße eine Anzahl eingeschlossen, die eine verschieden große Menge Luft enthielten, so daß sie nicht bei der nämlichen Temperatur emporstiegen oder herabsanken. Indem sie verschiedene Farbe trugen, konnte man nach ihrer Lage an der Oberfläche oder am Boden des Gefäßes auf die Temperatur schließen. Solche Gefäße, zum Teil im Geschmacke der Zeit in etwas abenteuerlicher Form hergestellt, sind noch in Florenz

---

[1]) Rey, Essays sur la recherche de la cause pour la quelle l'Estain et le Plomb augmentent de poids quand on les calcine. Nouvelle Edition par Gobet. Paris 1772, S. 136. Vgl. Burckhardt, Erfindung des Thermometers. Basel 1867, S. 37.

vorhanden[1]). Seit der Leibarzt des Herzogs von Württemberg, Salomon Reisel (1625 bis 1702), den nämlichen Versuch aber mit entgegengesetztem Erfolg angestellt hatte, indem er die Kügelchen offen ließ, so daß sie bei Erwärmung der sie enthaltenden Flüssigkeit emporstiegen, bei Abkühlung herabsanken, nannte man jenes Experiment das Florentiner, dieses das Stuttgarter[2]). Zur Untersuchung der Luftfeuchtigkeit gab der Großherzog das erste Kondensationshygrometer an. Es bestand[3]) aus einem großen mit Eis oder Schnee gefüllten Gefäß, aus dem das Schmelzwasser in einen darunter aufgehängten hohlen Glaskegel mit Ausflußöffnung an seinem oberen Rand abfloß. Dieses verdichtete den Wasserdampf der Luft an seiner Oberfläche, von welcher er dann in ein Meßgefäß abtropfte. Wenn die Anordnung genaue Ergebnisse auch nicht liefern konnte, so gelang es doch mit ihrer Hilfe den Mitgliedern der Accademia del Cimento damit die große Feuchtigkeit des Südwestwindes nachzuweisen. Aber nicht nur die Herstellung von Apparaten, welche für meteorologische Beobachtungen brauchbar waren, ließ sich der Großherzog angelegen sein, er suchte sie auch nutzbar zu machen. In seinem Auftrage verteilte der Jesuit Antinori solche in verschiedene Klöster Toskanas, in denen täglich Beobachtungen damit angestellt werden sollten, und bereits 1654 wurden diese Bestrebungen auch auf größere Entfernungen, namentlich Deutschland ausgedehnt, wo man in mehreren Klöstern die Lufttemperatur, den Luftdruck, die Windrichtung, die Luftfeuchtigkeit und die Bewölkung aufzeichnete.

Aber der Mediceer tat noch mehr für die Fortschritte der Wissenschaft durch das Zusammenwirken einer Anzahl dazu berufener Männer, wobei ihn sein Bruder Leopold (1617 bis 1675) mit Verständnis unterstützte. Noch lebten in Florenz die Schüler Galileis und in ihnen die Überlieferung der Schaffensweise des Meisters. Sie faßten 1657 die beiden Fürsten zu einer Akademie unter dem Vorsitze Leopolds zusammen, deren Zweck die experimentelle Forschung sein sollte, zu der mehr erwähnten Accademia del Cimento, deren Wahlspruch wurde: »Provando e Riprovando«. So setzten sie

[1]) Gerland. Bericht über den historischen Teil der internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London im Jahre 1876 in Hofmanns Bericht über die Ausstellung, Bd. I. Braunschweig 1878, S. 72.

[2]) Burckhardt, Die Erfindung des Thermometers. Basel 1867, S. 36.

[3]) Gerland, Bericht usw., S. 75.

die eine Seite der Galileischen Forschung fort, ihre Resultate wurden von Magalotti als Saggi di naturali esperienze fatte nell' Accademia del Cimento zusammengefaßt, ohne daß dabei der Anteil, den ein einzelnes Mitglied an den Arbeiten genommen hatte, angegeben wurde. Sie sind 1667, als sich die Akademie auflöste, in Florenz im Druck erschienen, dann mehrmals von neuem gedruckt. Eine lateinische Übersetzung gab 1731 Pieter van Musschenbroek heraus unter dem Titel: Tentamina experimentorum naturalium captorum in Academia del Cimento. Die Auflösung der Akademie fiel zeitlich zusammen mit der Erhebung Leopolds zum Kardinal, und man hat daraus gefolgert, daß der von Rom dafür geforderte Preis eben diese Auflösung gewesen sei, doch dürfte diese Annahme durch Galuzzi[1]) widerlegt sein. Höchst wahrscheinlich gaben Streitigkeiten, die im Schoße der Akademie ausgebrochen waren, neben dauernder Krankheit einzelner Mitglieder den Grund ab[2]).

Außer einer Anzahl korrespondierender besaß sie sieben wirkliche Mitglieder, die allein an ihren Arbeiten teilgenommen haben. Außer dem uns bereits bekannten Viviani und ihrem eben namhaft gemachten Historiographen Magalotti waren es Borelli, Buono, Marsili, Oliva, Redi und Renaldini, von denen einige, namentlich Borelli auch eine Reihe Schriften selbständig unter ihrem Namen veröffentlicht haben. Dem Bericht über die Arbeiten der Akademie schicken wir eine kurze Betrachtung der Lebensverhältnisse ihrer Mitglieder voraus. Graf Lorenzo Magalotti, 1637 in Rom geboren, war ein Schüler Vivianis, der ihn dem Prinzen Leopold zum Sekretär und Mitglied der Akademie empfahl; er starb 1712 in Florenz. Giovanni Alfonso Borelli, neben Viviani die Hauptzierde der Akademie, 1608 in Castelnuovo geboren, war in jungen Jahren nach Rom gekommen, wo er bei Castelli studiert hatte. Von einer Professur in Messina, die er nach Beendigung seiner Studien erhalten hatte, folgte er 1656 einem Rufe nach Pisa und wurde im folgenden Jahre der Akademie zugeteilt. Nach deren Aufhebung, zu der namentlich sein Gegensatz zu Viviani nicht wenig beitrug, kehrte er nach Messina zurück, mußte aber infolge

---

[1]) Galuzzi, Istoria del Granducato di Toscana della casa Medici. Edit. II. Livorno 1781. Tom. VI. S. 335 ff.

[2]) Burckhardt, Die Erfindung des Thermometers. Basel 1867, S. 21 ff.

seiner Beteiligung an einem Aufstand fliehen und beschloß sein Leben in den dürftigsten Verhältnissen Ende 1679 in Rom. Candido del Buono war 1618 in Florenz geboren, hatte Galileis Unterricht noch genossen und starb 1676 als Landdechant in Campoli im Val de Pesa. Ihm wurden eine Reihe der von der Akademie benutzten Meßapparate zugeschrieben. Weniger hoch schätzte man Alessandro Marsili, der 1601 in Siena geboren war und um 1670 in Pisa starb. Auch Graf Francesco Redi kommt als Physiker weniger in Betracht, da er eigentlich Mediziner und Leibarzt des Großherzogs war. Geboren 1626 zu Arezzo, starb er 1694 zu Pisa. Dagegen war Carlo Renaldini hauptsächlich Mathematiker und Ingenieur. Er war 1615 zu Ancona geboren, wurde 1649 nach Pisa als Professor berufen, in welcher Stellung er dem Sohne Ferdinands II., dem späteren Großherzog Cosimo III., Unterricht erteilte, 1667 ging er nach Padua, kurz vor seinem 1698 erfolgten Tode aber gab er seine Stellung auf und siedelte nach Ancona über. Das unglücklichste, aber das keineswegs am wenigsten fähige Mitglied der Akademie war Antonio Oliva, der zu Reggio geboren — das Geburtsjahr ist unbekannt — nach Auflösung der Akademie nach Rom ging, dort aber in das Gefängnis der Inquisition geriet und 1668 sein Leben freiwillig durch einen Sturz aus dem Fenster endete, da ihm, blieb er am Leben, die Folter bevorstand.

Die Arbeiten der Akademiker erstreckten sich fast auf alle Teile der Physik. Sie haben Versuche über das Verhalten der Körper im luftleeren Raum und bei Temperaturänderungen angestellt, über das des Wassers und des Eises suchten sie ins klare zu kommen, bestimmten das Gewicht der Luft in bezug auf Wasser, aber auch über die Lehre vom Wurf, über den Schall, das Licht und die Elektrizität haben sie gearbeitet. Ihre Arbeiten über den luftleeren Raum verfolgten, soweit sie nicht der Verteidigung der Torricellischen Lehre vom Luftdruck gewidmet waren, dieselben Ziele, wie Guerickes Versuche. Aber sie suchten ihr Ziel in ganz anderer Weise zu erreichen wie der deutsche Forscher. Zwar haben sie eine Luftpumpe verwendet, die sie durch Boyles Schrift kennen gelernt hatten[1]), meist aber bedienten sie sich zu ihren Arbeiten mit großem Geschick der Barometerleere. Freilich kann ihr Barometer nicht sehr luftleer gewesen sein, denn sie

---

[1]) Musschenbroek, Tentamina etc., Bd. I, S. 87.

beobachteten eine Abhängigkeit seines Standes von der Temperatur. Wie wenig genau sie es mit der Luftleere nahmen, beweist ihre oft angewendete Methode, ein Barometer zu benutzen, dessen oberer luftleerer Raum gegen die Atmosphäre mit einer darüber gebundenen Blase abgeschlossen war. Aber wenn sie auch über keine hochgradige Luftleere verfügten, so ist um so mehr ihre Geduld und ihr Scharfsinn zu bewundern, der sie die Versuche, die Guericke und Boyle unter der Glocke der Luftpumpe angestellt hatten, in der Barometerkammer machen ließ. Um dabei aber den Fehler Torricellis zu vermeiden, der, um das Verhalten von Tieren im luftleeren Raum zu untersuchen, sie durch das Quecksilber hatte aufsteigen lassen, aus dem sie freilich bereits getötet herauskamen, versahen sie die erweiterte Barometerkammer mit einem aufgeschliffenen, wohl auch mit einem seitlichen verschließbaren Rohre versehenen Deckel, den sie behufs der Einführung des zu untersuchenden Gegenstandes abnehmen konnten, um dann das Rohr und seine Erweiterung durch Umkehren oder mittels des Rohransatzes mit Quecksilber zu füllen[1]). Indem sie so in die erweiterte Kammer die untere Öffnung eines zweiten Barometerrohres einsetzten, wiederholten sie einen Versuch, den bereits, wie wir sahen, Pascal und nach ihm de Roberval angestellt hatten, um das Wesen des Barometers klarzulegen. Nach Umkehrung des Doppelrohres fiel das Quecksilber in seiner oberen Hälfte bis zur Oberfläche des in dem Gefäß enthaltenen, in welches sein unteres Ende eintauchte. In ähnlicher Weise beobachteten sie das Anschwellen einer etwas Luft enthaltenden zugebundenen Blase im luftleeren Raume. Die in ihrem Kreis aufgetretene Streitfrage, ob auf ein in einem geschlossenen Raum befindlichen Barometer nur die in diesem enthaltene oder aber die ganze Atmosphäre wirke, entschieden sie zugunsten der letzteren Annahme, indem sie ein Barometer unter einer Glasglocke aufstellten und deren unteren Rand luftdicht verkitteten, wohl das erste Mal, daß eine Campane diese ihr später so häufig zugemutete Verwendung fand. Indem sie aber ein Barometergefäß mit einem seitlichen Ansatzrohr benutzten, an dieses aber ebenfalls nach Pascals Vorgang einen Pumpenstiefel mit Kolben ansetzten, konnten sie die Wirkung der Verdünnung,

---

[1]) Ebenda Bd. I, S. 30. Vgl. hierüber und das folgende: Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 154 ff.

aber auch der Erwärmung und der Abkühlung der das Quecksilber im Barometerrohr im Gleichgewicht haltenden Luft untersuchen. Der Versuch, der sie berechtigte, das Barometerrohr als den einen Schenkel eines kommunizierenden Rohres anzusehen, führte sie dann auf die Methode der Bestimmung des spezifischen Gewichtes mittels kommunizierender Röhren[1]), doch tritt dabei auch hervor, daß die Akademiker, wie wohl alle ihre Zeitgenossen, die aus dem Wasser im luftleeren Raum aufsteigenden Dampfblasen für Luft hielten.

Die Höhenmessung mit dem Barometer wollten sie ebenso vornehmen, wie dies Périer getan hatte, und stellten deshalb ein Barometer her, dessen Rohr besonders sorgfältig in den Hals des flaschenförmigen Gefäßes gekittet war, während dieses einen seitlichen Tubulus aufwies, der nach Belieben geschlossen und geöffnet werden konnte[2]). Da aber der Apparat doch noch recht zerbrechlich war, und da sie einsahen, daß die in der Kammer ihrer Barometer immer noch enthaltene Luft, die vollständig zu entfernen sie kein Mittel besaßen, die Brauchbarkeit ihrer Apparate zu dem genannten Zwecke sehr in Frage stellen mußte, so suchten sie in sehr geschickter Weise diese Fehlerquellen zu vermeiden. Dazu stellten sie ein kommunizierendes Rohr her, dessen kürzerer Schenkel zylindrisch und oben offen war, dessen längerer oberhalb der Öffnung des kürzeren zwei große hohle Kugeln trug, von denen die obere in ein in einer feinen Spitze endigendes Rohr auslief. Beide zylindrischen Schenkel waren mit einer auf Pergament aufgetragenen Teilung versehen, die auf dem Glas auflag und durch das Rohr abgelesen werden konnte. Sie warteten nun einen Zeitpunkt ab, wo die Temperaturen am Fuße und an der Spitze des Turmes die nämliche war, füllten die zylindrischen Röhrenstücke am Fuße des Turmes bis zur Hälfte mit Quecksilber, schmolzen dann mit der Glasbläserlampe die Spitze zu und zogen den Apparat rasch auf den Turm. Das Quecksilber im offenen Schenkel stieg dann etwas und die beobachtete Differenz ließ die Abnahme des Druckes beim Erheben des Apparates berechnen, was freilich die Kenntnis des Boyleschen Gesetzes voraussetzte.

Apparate ähnlicher Art ließen sie dann feststellen, daß fallende Tropfen in der Barometerkammer ihre Kugelform behalten, daß die

---

[1]) Van Musschenbroek. Tentamina, T. I, S. 47.

[2]) Ebenda T. I, S. 49.

Linsenbilder in ihr die nämlichen waren, wie in der Luft, daß die Wirkung zweier Magnete sich nicht änderte, auch wenn man den einen in sie hineinbrachte, und daß die Steighöhe einer Flüssigkeit in einer kapillaren Röhre die nämliche in der Luft war, wie in der Barometerkammer. Als sie ein Barometerrohr, das unten in eine feine Spitze ausgezogen war, mit Quecksilber gefüllt und umgekehrt hatten, floß das Quecksilber in einem feinen Strahl so lange aus, bis die Länge der Quecksilbersäule im Rohre der im Barometer gleich geworden war.

Derselbe Gedankengang, der Boyle zu der großen Zahl seiner Versuche im Rezipienten der Luftpumpe bewog, führte die Akademiker zu ähnlichen. Hier aber zeigten sich bei Anwendung der Barometerleere so unüberwindliche Schwierigkeiten, daß sie sich schließlich genötigt sahen, sie durch die Luftpumpe zu ersetzen. Trotzdem kamen sie nicht zu eindeutigen Ergebnissen. Zunächst galt es, zu untersuchen, ob durch Reibung zweier Körper im luftleeren Raum ebenso Elektrizität erregt werden könne wie in der Luft. Ein Versuch[1]), die Hand des Experimentators in die Barometerkammer einzuführen und durch einen um sein Handgelenk gelegten Wachsring zu dichten, konnte natürlich nicht gelingen, aber sie erhielten ebensowenig eine Wirkung, als sie ein Stückchen Tuch oder Ziegenfell in der Barometerkammer anklebten und daran ein Stück Bernstein rieben, welches an einem mit Schweinsblase luftdicht, aber beweglich befestigten Stiele saß. Sie schrieben mit richtigem Empfinden das Mißlingen dem auf ihre Weise ausgedrückten Umstande zu, daß das Quecksilber in dem Tuche oder Felle einige „Fäces" zurückgelassen habe[2]).

Nicht besser gelang ihnen die Beantwortung der Frage, ob eine Schelle im luftleeren Raume ertönen könne, da es ihnen nicht möglich war, sie so anzubringen, daß sie nicht mit dem sie einschließenden Gefäße in Berührung kommen konnte. Dieser Schwierigkeit glaubten sie sonderbarerweise begegnen zu können, wenn sie die Schelle durch eine Orgelpfeife ersetzten, als einem akustischen Instrumente, bei welchem der Ton durch die austretende Luft hervorgerufen werde. Dieser Versuch ist deshalb von Interesse, weil sie ihn in einem zylindrischen Rezipienten anstellten, auf dessen Deckel eine Luftpumpe aufgesetzt war, während durch ein seitliches Rohr der wieder mit Schweinsblase ge-

[1]) Ebenda T. I, S. 67.
[2]) Ebenda T. I, S. 86.

dichtete, den Blasebalg betätigende Stab hin- und herbewegt werden konnte. Es zeigte sich kein Unterschied, ob die Orgelpfeife im Rezipienten oder in der „natürlichen“ Luft angeblasen wurde. Leicht genug setzten sie sich freilich über diesen Mißerfolg hinweg; wenigstens lesen wir bei Magalotti: „Daraus folge (sagten einige gleichsam scherzend), entweder, daß die Luft nichts zum Tone beitrage, oder ihn in jeder Verfassung gleichmäßig hervorrufe“[1]). Von größerer Wichtigkeit als dies Ergebnis ist für uns der Umstand, daß die Akademiker den Stift der Guerickeschen und Boyleschen Luftpumpe durch ein Ventil ersetzt hatten. Über seine Einrichtung teilen sie uns freilich nichts mit, sie hatten aber damit den ersten Schritt zu der Weiterentwicklung der Luftpumpe gemacht. Leichter für sie waren die Versuche auszuführen, bei denen kaltes Wasser im luftleeren Raum zum Sieden kam und die Steighöhe in Kapillarröhren daselbst zu beobachten. Zu letzterem Versuch benutzten sie freilich die Luftpumpe. Das Schmelzen des Schnees im luftleeren Raum schrieben sie mit Recht nicht dessen Einwirkung, sondern der des Quecksilbers zu, dessen Temperatur sie freilich nicht angegeben haben[2]).

Daß sie sich an den meteorologischen Beobachtungen ihres fürstlichen Beschützers beteiligten, braucht kaum besonders hervorgehoben zu werden. Verdankt man doch ihnen die frühesten Abbildungen der dazu dienenden Instrumente, wie sie sich denn auch um die Herstellung guter Thermometer große Verdienste erworben haben. Diese beschreiben sie in folgender Weise[3]): „Das Thermometer ist aus bestem Glas durch Künstler hergestellt, welche die Luft aus dem Munde wie aus einem Blasebalge ausblasen und durch ein Glasrohr gegen die Lampenflamme bewegen, welche sie entweder unversehrt oder in Abschnitte geteilt, wie es in jedem Falle verlangt wird, durch das Einblasen auftreiben und so bewunderungswürdige und sehr dünne Gegenstände aus dem Glase formen. Einen solchen Künstler nennen wir Bläser. Seine Sache ist es, die Kugel des Instrumentes von solcher Kapazität und Größe herzustellen und ihr eine Röhre von solcher Weite anzufügen, daß, nachdem Weingeist bis zu einem gewissen, an seinem Rohre angebrachten Zeichen hineingegeben ist, die einfache Kälte des Schnees und Eises

[1]) Ebenda T. I, S. 87.

[2]) Ebenda T. I, S. 94 und 95.

[3]) Ebenda T. I, S. 2. Nach der Übersetzung von Gerland und Traumüller a. a. O., S. 166.

ihn nicht unter 20 auf der Röhre bezeichnete Grade zusammenziehe, und andererseits die größte Kraft der Sonnenstrahlen mitten im Sommer ihn nicht über 80 Grade ausdehnen könne. Die Art, das Instrument zu füllen, ist die folgende: Die Kugel wird über Feuer erhitzt und darauf plötzlich das offene Ende der Röhre in Weingeist getaucht, welcher langsam hineinsteigt. Weil es aber schwer, wenn nicht unmöglich ist, durch Ausdehnung die Luft auszutreiben, und da die Kugel, wenn auch nur etwas Luft darin bleibt, nicht gefüllt werden kann, so muß man das letzte Nachfüllen mittels eines Trichters besorgen, welcher einen ganz dünn ausgezogenen Hals besitzt. Dieser kann am besten erhalten werden, wenn man Glas im Feuer glühend macht; denn dann kann man es in ganz dünne Fäden ausziehen, welche im Innern einen offenen Kanal haben, wie jeder weiß, der die Kunst der Glasbearbeitung kennt. Mit Hilfe dieses Trichters kann das Thermometer daher gänzlich gefüllt werden, indem man den Trichterhals in das Thermometerrohr einführt und die Flüssigkeit durch die Gewalt des Blasens hineintreibt oder sie zurücksaugt, wenn zuviel eingedrungen ist. Indessen ist zu bemerken, daß die Thermometergrade sehr sorgfältig aufgetragen werden müssen; ebenso ist es notwendig, das ganze Rohr mit dem Zirkel genau in zehn gleiche Teile zu teilen und jeden Teilstrich nachher durch eingebrannte weiße Glasperlen zu bezeichnen. Dann werden die anderen Grade dazwischen mit schwarzen eingebrannten Perlen bezeichnet, diese letzte Teilung aber kann nach dem Augenmaß geschehen, weil Übung, Sorgfalt und Aufmerksamkeit die gleichen Abstände sichern und eine gute Teilung verbürgen, so daß jemand, der Übung hat, kaum irren wird. Ist dies vollendet und mit Hilfe des Versuches mit der Sonne und dem Eise die notwendige Menge Weingeist genau bestimmt, wird die Öffnung des Rohres mit der Lampenflamme, hermetisch, wie man es gewöhnlich nennt, geschlossen, und das Thermometer ist fertig." Als thermometrische Substanz wählten die Akademiker Weingeist, den sie anfangs mit Kermes oder Drachenblut färbten, davon aber wieder abließen, nachdem sie gefunden hatten, daß die Farbstoffe das Glas beschmutzten. Seine größere Beweglichkeit, seine Eigenschaft der rascheren Wärmeaufnahme und der Angabe kleinster Temperaturunterschiede ließen ihn dem Wasser vorziehen, um so mehr als sie gefunden hatten, daß dieses mit der Zeit Unreinigkeiten absetze. Doch haben sie auch, nachdem sie gefunden hatten, daß das Quecksilber zu einer gleichen Temperaturerhöhung weniger Wärme bedürfe als das Wasser, auch die Wärme rascher auf-

nehme als dieses, ein Quecksilberthermometer hergestellt, sind aber doch beim Weingeistthermometer geblieben, da sich dieses als empfindlicher herausstellte[1]). Aus demselben Grunde ließ Boulliau ein Quecksilberthermometer, das er 1659 oder 1662 benutzt hatte, wieder liegen[2]).

Wie man sieht, war die Kunst, Thermometer herzustellen, damals bereits sehr ausgebildet. Sie blieb für lange Zeit vorbildlich. Drei und mehr übereinstimmende Thermometer, welche bis 50° gingen, herzustellen, machte sich der Glaskünstler des Großherzogs Ferdinand anheischig. Für solche bis 100 oder gar 300° traute er es sich nicht zu. Ein solches von 300° ließen aber die Akademiker auch herstellen. Es ist noch in Florenz vorhanden und besitzt ein großes Gefäß und ein langes enges Rohr, welches in 13 Schraubenwindungen gelegt ist[3]). Überhaupt unterschieden sich die Thermometer nur durch ihre Länge. Das in 100 Grade geteilte ziegte in der größten Winterkälte in Florenz 17 oder 16, in der Sonne 80 Grade, das 50 Grade tragende unter denselben Umständen 12 oder 11 und 40 Grade. In schmelzendem Eis zeigte das letztere 13½ Grad, eine Angabe, die Antinori 1829 durch Prüfung einer Anzahl zufällig aufgefundener Thermometer, welche von den Akademikern herrührten, hat bestätigen können[4]). Nach Leurechon-Schwenter verstand man übrigens bereits 1636 die Röhre so zusammenzupassen, daß die Flüssigkeit vom Sommer zum Winter die ganze Röhre durchlief. Damals teilten die Physiker diesen Raum auf der Röhre in acht und jeden von diesen in ebensoviel Teile, so daß man im ganzen 64 hatte, während die Mediziner sich mit einer Einteilung in vier Grade begnügten[5]).

Als Zeitmesser benutzten sie ein bifilar aufgehängtes Pendel, dessen Länge ein mit einem Schlitz versehener Schieber nach Belieben zu ändern erlaubte oder für kleinere Zeitteilchen die Uhr, welche „als erster von allen Galilei erfand, und welche 1649 dessen Sohn Vincentius Galilei zur Ausführung brachte[6])." Die äußere Form des Apparates

[1]) Aggiunti ai Saggi 1641, S. 74. Vgl. Burckhardt, Zur Geschichte des Thermometers. Basel 1902, S. 32.

[2]) Maze, Comptes rendus 1895, Bd. 120, S. 732.

[3]) Gerland in Hofmanns Bericht über die wissenschaftlichen Apparate auf der Londoner internationalen Ausstellung im Jahre 1876, S. 70.

[4]) Libri, Annales de Chimie et de Physique 1830, XLV, S. 354.

[5]) Schwenter, Deliciae physico-mathematicae. Nürnberg 1736, S. 455 ff.

[6]) Musschenbroek, Tentamina etc. T. I, S. 20.

hat damit freilich nichts zu tun, er sieht aus, als habe man eine der damals üblichen Tafeluhren mit einem Pendel versehen. Es wird auf diesen Punkt näher einzugehen sein, sobald der Anteil von Huygens an der Erfindung der Pendeluhr erörtert worden ist.

Bei einer Reihe weiterer Versuche war die Fragestellung der Akademiker eine völlig richtige, daß sie dabei nicht immer zu brauchbaren Ergebnissen kamen, hatte seinen Grund in dem Mangel an genügend feinen Meßinstrumenten. Sie hatten reichlich Gelegenheit gehabt, zu beobachten, wie frierendes Wasser die es einschließenden Gefäße gesprengt hatte. Sie wandten dadurch angeregt sich der Untersuchung der Ausdehnung der Körper zu. Gelegentlich der Versuche, die die Ausdehnung der Flüssigkeiten in einem thermometerartigen Gefäß mit weiter Kugel und engem Rohre ermitteln sollten, beobachteten sie jedesmal einen »Saltus immersionis«, einen Sprung beim Eintauchen, nämlich eine Bewegung der Flüssigkeit im entgegengesetzten Sinne, als sie nachher auftrat, und schrieben diese mit Recht der Ausdehnung des Gefäßes zu. Die Ausdehnung der festen Körper verschiedener Form haben sie mit Hilfe von Leeren, in die der erwärmte Körper von Kegelform weniger weit hereinsank als der kalte, eingehend untersucht, ohne jedoch über qualitative Ergebnisse hinauszukommen. Dabei scheinen sie bei der Ausdehnung des Holzes keinen Unterschied zwischen der Ausdehnung durch Erwärmen und durch Quellen gemacht zu haben[1]). Berühmter sind ihre Versuche über die Zusammendrückbarkeit des Wassers geworden, die sie auf dreierlei Weise ausführten, indem sie den Druck des sich durch Erwärmung ausdehnenden Wassers, den Druck einer beliebig zu erhöhenden Quecksilbersäule und den durch den Stoß eines aufschlagenden Hammers erzeugten benutzten. Mit den beiden ersten Methoden konnten sie keine Zusammendrückbarkeit des Wassers beobachten, obwohl sie Drucke anwendeten, welche die von ihnen benutzten gläsernen Gefäße nicht aushielten. Bei dem dritten schloßen sie Wasser in eine silberne mit Schraubenverschluß versehene Kugel ein und bearbeiteten sie, wie eine noch vorhandene und noch verschraubte solche Kugel durch ihre Beulen beweist, mit vielen und kräftigen Hammerschlägen, aber das Wasser drang als feiner Tau, der die Kugel beschlug, durch die Poren des Silbers. Im Sinne moderner Empirie zogen sie aus diesem negativen Versuchsergebnis keineswegs den Schluß, daß

---

[1]) Musschenbroek, Tentamina. T. II, S. 4 ff.

das Wasser unzusammendrückbar sei. Vielmehr sprechen sie sich folgendermaßen aus[1]): „Sicher ist, daß das Wasser im Vergleich zur Luft einem unendlich mal größeren Drucke widerstehe (wenn man so sagen darf), was also das bestätigt, was wir anfänglich sagten. Wenn freilich auch die experimentelle Forschung nicht immer zur äußersten Wahrheit, welche wir suchen, hinführt, so gibt sie in jedem günstigen oder ungünstigen Falle etwas Licht, sei dies auch noch so wenig."

Die weiteren Versuche, die die Akademiker anstellten, gaben nicht viel Neues. Sie wiederholten in etwas verbesserter Form Gassendis Versuche zur Messung der Geschwindigkeit des Schalles und bestätigten den von jenem gefundenen Wert von 1077' par. (349,85 m) in der Sekunde und die Unveränderlichkeit dieser Größe, die sie für Messungen von Entfernungen wohl geeignet mache. In der Folgezeit sind, um gleich hier darauf hinzuweisen, diese Messungen mehrfach wiederholt worden. Nach der 1708 von Halley gegebenen Zusammenstellung fanden Roberts 396,3 m, Boyle 365,7 m, Walker 407,9 m, Mersenne 449,2 m, französische Gelehrte 357,2 m, endlich Flamsted und Halley 348,1 m, während sie Newton auf theoretischem Wege ebenfalls zu 348,1 m berechnete[2]). Die von den Florentinern ausgeführte Bestimmung gehört also zu den weitaus besten. Ihre elektrischen und magnetischen Versuche förderten dagegen nicht viel Neues zutage, außer etwa der Verwendung einer Bussolennadel, die durch einen seitlich von ihr aufgestellten Magneten abgelenkt wurde, welche Ablenkung ein genäherter magnetischer Körper veränderte und die Fähigkeit einer Flamme, einen durch sie hindurch gezogenen elektrischen Körper zu entladen. Die Lichtgeschwindigkeit haben auch sie zu bestimmen gesucht, freilich ohne einen Erfolg verzeichnen zu können. Endlich sei noch erwähnt, daß sie die Leichtigkeit eines Körpers nicht als Ursache seines Aufsteigens ansahen, sondern diese in dem nach unten gerichteten steten Drängen der schweren Körper in ihrer Umgebung erblickten.

l) Der neue Kalender und seine Einführung.

Es ist bereits des öfteren hervorgehoben worden, daß zum Verständnis oder zur Bestätigung der Ansichten der Forscher deren Brief-

---

[1]) Ebenda T. II, S. 64.

[2]) Newtoni Philosophiae naturalis Principia mathematica. Ed. alt. Le Seur & Jacquier. Colon. Alobrogum 1760, T. II, S. 394.

wechsel von der größten Bedeutung ist. Von ganz besonderer Wichtigkeit aber sind die von ihnen geschriebenen Briefe, sobald es sich um Zeitbestimmungen handelt. Dabei aber tritt eine eigentümliche Schwierigkeit uns entgegen, die darin besteht, daß gerade in der an Entdeckungen reichsten Zeit ein Wechsel im Datum eintrat, dessen Notwendigkeit sich im Laufe der Jahrhunderte ergeben hatte. Gelegentlich der Betrachtung der Arbeiten Regiomontans haben wir diese Kalenderverbesserung bereits gestreift; es wird notwendig sein, an dieser Stelle etwas näher darauf einzugehen, da gerade die Briefe der Männer, deren Werke uns im folgenden zu beschäftigen haben, zumeist mit dem doppelten Datum versehen worden sind.

Daß die Ägypter bereits nach Sonnenjahren zu 365 Tagen rechneten, ist oben (S. 18) gezeigt worden, während das Jahr der Römer 354 Tage enthielt, dem nach den Bestimmungen von Numa Pompilius alle zwei Jahre ein Monat von 22 Tagen und in jedem 4. Jahre ein solcher von 23 Tagen zugefügt wurden. Da aber die Art der Schaltung den Priestern überlassen war, so geriet die Zeitrechnung derartig in Unordnung, daß bereits zu Zeiten Julius Cäsars die bürgerliche Tag- und Nachtgleiche 90 Tage vor der astronomischen eintrat, so daß die Monate und die ihnen zukommenden Jahreszeiten völlig verschoben waren. Als Cäsar Pontifex maximus war, schien es ihm dringendes Bedürfnis, diesem Übelstand, der immer mehr zunehmen mußte, abzuhelfen. Er berief den Astronomen Sosigenes aus Alexandrien, einen Peripatetiker, im Jahre 47 v. Chr. nach Rom und trug ihm die Verbesserung des Kalenders auf. Dieser löste seine Aufgabe dadurch, daß er dem genannten Jahre, das deshalb das „Jahr der Verwirrung" genannt wurde, 90 Tage anhängte, und indem er anordnete, daß jedes vierte Jahr ein Schaltjahr sein, d. h. 366 Tage zählen sollte, den julianischen Kalender ins Leben rief, der, nachdem ihn Augustus von einigen durch die Priester zugefügten unbrauchbaren Zutaten wieder befreit hatte, etwa 16 Jahrhunderte in Geltung blieb[1]). Da nun aber das Jahr nicht 365 Tage und 6 Stunden, sondern 365 Tage und 6,128 Stunden hat, so hatte sich im 14. Jahrhundert die Frühlingsnachtgleiche merklich verschoben, sie fiel nicht mehr auf den 21. März, wie dies 325 die Kirchenversammlung in Nicäa vorgeschrieben hatte,

[1]) Wislicenus in Valentiner Handwörterbuch der Astronomie, Bd. I. Breslau 1897, S. 614.

und da sich nach ihr die Lage des Osterfestes richten sollte, so traten bald solche Unregelmäßigkeiten ein, daß Beda, Roger Bacon, Nikolaus von Cusa, Michael Stifel u. a. sich veranlaßt sahen, Vorschläge für eine neue Kalenderreform zu machen[1]). Um die nötigen Vorarbeiten anzustellen, berief dann Papst Sixtus IV. Regiomontanus 1475 nach Rom, die beabsichtigte Reform wurde aber durch den Tod des trefflichen Astronomen vereitelt. Erst 1516 ging man wieder daran, aber nicht früher als 1582 konnte Papst Gregor XIII. den neuen Kalender einführen, wonach das Säkularjahr kein Schaltjahr sein sollte. Eine Bulle bestimmte nun, daß der Fehler, der doch nun wieder auf 10 Tage angewachsen war, dadurch gehoben werden sollte, daß man die Tage vom 5. bis 14. Oktober wegließ, also vom 5. sogleich auf den 15. Oktober übersprang. Obgleich nun Kepler für diesen Vorschlag mit allem Eifer eintrat, so wurde ihr doch nur in Italien, Spanien und dem Fürstentum Neuenburg in der Schweiz 1582 Folge gegeben, in den übrigen katholischen und mehr noch in den protestantischen Ländern verletzte der anmaßende Ton, in dem die Bulle gehalten war, so sehr, daß jene nur langsam ihr Folge leisteten, diese aber die Neuerung ablehnten. So nahm sie Frankreich allerdings in demselben Jahre an, man ließ aber dort den 10. bis 19. Dezember ausfallen. Im katholischen Deutschland bedurfte es des persönlichen Eingreifens Kaiser Rudolf II., um 1584 den neuen Kalender einzuführen, Polen nahm ihn 1586, Ungarn erst 1587 an. Am unbequemsten gestaltete sich die Angelegenheit für die Schweiz, weil dort von 1583 bis 1622 die einzelnen Kantone sich für die neue Datierung entschieden und so benachbarte Orte zeitweise um 10 Tage im Datum abwichen.

Völlig ablehnend verhielten sich die protestantischen Fürsten. Ein von Wilhelm IV. von Hessen erbetenes Urteil über die Verbesserung enthielt den Vorschlag, in anderer freilich weniger zweckmäßiger Weise dem eingetretenen Übelstand abzuhelfen. Es war ein Glück, daß dieser Vorschlag nicht angenommen wurde, der die Datumsverwirrung für alle Zeiten befestigt hätte. Erst 1699 nun gelang es den unausgesetzten Bemühungen Leibnizens, den der Jenenser Professor der Mathematik Erhard Weigel (1625 bis 1699) dazu angeregt hatte, die Einführung des „verbesserten Reichskalenders" zustande zu bringen, den nun auch die Niederlande annahmen. Man ließ den

[1]) Ebenda S. 615.

19. bis 29. Februar 1700 weg, und die noch den alten Kalender benutzenden Schweizer Kantone schlossen sich im Jahre 1701 an, indem sie dieses mit dem 12. Januar beginnen ließen. 1710 schloß sich dann auf Römers Anregung Dänemark an, St. Gallen erst 1724. Gerade in die Zeit der Regelung des Kalenders fallen nun, wie erwähnt, die Briefwechsel, die für uns eine besondere Wichtigkeit haben. Betreffen sie doch die zahlreichen Briefe von Huygens und Leibniz! Meistenteils bemerkten die Briefsteller, ob sie nach „altem“ oder „neuen“ Stil datierten, oder sie fügten beide Daten bei. Freilich kommen auch nicht selten Fälle vor, in denen man zweifelhaft ist, unter welcher Datumsbezeichnung der Brief geschrieben ist, in solchen Fällen sind oft mühsame Untersuchungen nötig, um dies zu entscheiden, und man muß sorgfältig auf die Datumsänderung acht geben, wenn man die Angabe eines Wochentages zur Datumsbestimmung benutzen will.

Ganz besonders schwierig gestalteten sich die Verhältnisse in England, wo damals das Jahr mit dem 25. März, dem Tage von Mariä Verkündigung begann[1]). Nach dem von Lord Chesterfield eingebrachten Gesetzentwurf wurde nun das Jahr 1752 nicht am 26. März, sondern mit dem 1. Januar, der nach früherem Gebrauche dem Jahre 1751 gehört haben würde, begonnen, außerdem aber fielen die Tage vom 3. bis 13. September 1752 weg. Es war eine durchgreifende Kur, welche freilich für England ein Jahr der Verwirrung brachte und hauptsächlich vom englischen Volk als überaus lästig empfunden wurde. „Gib uns unsere drei Monate wieder,“ rief man Lord Chesterfield nach, wo er sich zeigte und noch jetzt ist dem Geschichtsforscher dies Jahr ein verwirrendes, indem die Daten über englische Forscher recht ungleich angegeben werden. So findet man als Geburtsjahr Boyles 1626 und 1627 genannt, und diesen Verhältnissen entspringt die Unsicherheit in den Angaben des Erscheinens seiner Werke, die nur noch dadurch vergrößert wurde, daß mehrere von Boyles Schriften, und gerade die wichtigsten, zu fast gleicher Zeit an verschiedenen Orten neu aufgelegt wurden[2]). Als dann aber 1753 der gregorianische Kalender auch in Schweden eingeführt worden war, war die abendländische Christenheit im Besitz der nämlichen Zeitrechnung und ist es auch

[1]) J. E. Bode, Kurzgefaßte Erläuterung der Sternkunde, 2. Teil. Berlin 1778, S. 624.

[2]) Vgl. Mönnichs, Robert Boyle als Geophysiker. München 1899, S. 28.

trotz der Versuche der französischen Revolution, daran zu rütteln, geblieben. Nur die griechisch-katholische Kirche rechnet noch nach dem julianischen Kalender, in Rußland ist man deshalb gegen Westeuropa gegenwärtig stets um 13 Tage zurück.

3. Christian Huygens.

Die Geschichte der Physik hat eine gewisse Ähnlichkeit mit einem Roman. Nach und nach werden die handelnden Personen eingeführt. Mit ihrer wachsenden Zahl aber verbreitert sich die Handlung, und es wird immer schwieriger, deren nebeneinander herlaufende Fäden zu verfolgen. Denn statt der wenigen, deren Tätigkeit im Anfange zu schildern war, sind nun viele am Werk, zum Teil gleichzeitig die nämlichen Gegenstände bearbeitend, zum Teil zu Ergebnissen kommend, von denen das eine eine Folgerung des anderen ist. Da muß der überreiche Stoff bald nach Personen, bald nach den ihn bildenden Gegenständen eingeteilt werden, und es ist nicht leicht, eine durchsichtige Übersichtlichkeit zu gewinnen. Gerade in diesem Abschnitte, den wir nun beginnen, ist dies von besonderer Wichtigkeit, denn am Ende des 16. Jahrhunderts wird die Scholastik endgültig überwunden, die vier Männer, deren Geistesarbeit die moderne Forschungsweise zur Geltung bringt, der Holländer Huygens, der Engländer Newton, der Deutsche Leibniz und der Franzose Papin haben den Bannstrahl des Papstes nicht zu fürchten, da sie der katholischen Kirche nicht angehören, sie stehen nur im Dienste der Wahrheit, und wie Lyell die unserer gegenwärtigen Erdperiode vorangehende Tertiärzeit in das Eozän, das Miozän und das Pliozän einteilt, je nach der verhältnismäßigen Menge der mit denen der Gegenwart übereinkommenden Organismen, so können wir diese Betrachtungsweise auf die Geschichte der Physik übertragen, wenn wir an die Stelle der Organismen die Forschungsergebnisse setzen, welche sich bis heute behauptet haben. Das Eozän, die Zeit der Morgenröte, ist dem aufsteigenden Tage gewichen, das Miozän, zu dessen Betrachtung wir uns nun wenden, schafft eine Menge neuen Stoffes heran, den die Zeit des 18. Jahrhunderts, dem Pliozän

---

[2]) Dies ist die einzig richtige Schreibweise des Namens, die Huygens selbst stets anwendete. In holländischen Schriften findet man demgemäß keine andere. Französisch schrieb er sich Hugens, welche Schreibweise Gebhardt beibehalten hat, lateinisch Hugenius.

vergleichbar, einer allseitigen Weiterbearbeitung unterzieht. Plötzliche Übergänge treten dabei nirgends auf, auch hier ist die Entwicklung eine stetige, und die neue Anschauungsweise, die uns aus den Werken der Männer, welche den Fortschritt bedingten, entgegentritt, hat sich sehr allmählich — die uns erhaltenen Briefe gestatten die genaue Verfolgung des Vorganges — entwickelt.

Der Mann, der diesen neuen Zeitraum der Geschichte der Physik einleitet, ist Christian Huygens. Er war der 1629 im Haag geborene zweite Sohn des als Dichter und Staatsmann bekannten Constantin Huygens, der dreien Statthaltern aus dem Hause der Oranier treu zur Seite gestanden hat. Christian studierte in Leiden und in Breda Rechtswissenschaft und machte dann der Sitte seiner Zeit gemäß verschiedene Reisen, die ihn nach Dänemark, Deutschland, Belgien und Frankreich führten. Hier erwarb er sich mit seinem jüngeren Bruder Ludwig an der protestantischen Akademie zu Angers 1655 den Grad eines Doktors beider Rechte, kehrte aber dann nach Holland zurück. In den Jahren 1661 und 1663 unternahm er Reisen nach Paris und London, im letztgenannten Jahre mit seinem Vater, und trat bei dieser Gelegenheit in Beziehung einerseits zu Boulliau, Auzout, de Roberval und Chapelain, anderseits zu Moray, Brounker, Oldenburg u. a. Seine bei dieser Gelegenheit in Paris bekannt gewordenen Arbeiten hatten Colbert auf ihn aufmerksam gemacht, der ihn 1666 als eines der ersten Mitglieder der neu begründeten Pariser Akademie der Wissenschaften berief. Daß er an ihr sogleich eine leitende Stelle einnahm, beweist der Umstand, daß er die Vorschläge für die von der Akademie zunächst in Angriff zu nehmenden Aufgaben auf physikalischem Gebiete machte, die Colbert ausdrücklich billigte[1]). Aber Huygens konnte das Pariser Klima nicht vertragen. 1670 mußte er einen Urlaub von einem halben Jahre nehmen, den er im Haag zubrachte und der seine Gesundheit völlig wieder herstellte. Er kehrte nach Paris zurück, obgleich ihm sein Aufenthalt durch den Krieg verbittert wurde, den Ludwig XIV. mit Holland führte. 1676 wiederholte sich seine Krankheit, wieder suchte und fand er die Heilung in seiner Vaterstadt, so daß er 1678 abermals nach Paris zurückkehren konnte. Doch mußte er 1681 von neuem um Urlaub zu einer Reise nach Holland bitten, den ihm Colbert dann ohne weiteres

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VI. La Haye 1895, S. 95.

verlängerte. Als dieser aber am 6. September 1683 starb, änderten sich die Verhältnisse in Paris sehr zu Huygens' Ungunsten. Colberts Nachfolger Louvois besaß nicht das Interesse für die Wissenschaft, das jener bei jeder Gelegenheit bewiesen hatte. Trotz mehrfacher Anfrage, trotz der Bemühungen seines Vaters, der seinen ganzen, früher so großen Einfluß aufbot, wurde Huygens weder zurückgerufen, noch erhielt er seinen Gehalt ausgezahlt. So kam das Jahr 1685 heran und mit ihm die Aufhebung des Ediktes von Nantes, in deren Folge Huygens zu erkennen gegeben wurde, daß er auf eine Rückberufung nicht zu rechnen habe. Gleichwohl wurde ihm ein ehrenvoller Abschied nicht zuteil. Er blieb nun in seiner Vaterstadt wohnen, die er nur 1689 verließ, um seinen ein Jahr älteren Bruder Constantin, der als Sekretär des zum König von England erhobenen Oraniers Wilhelms III. nach London gegangen war, zu besuchen und sich um eine Anstellung an einem Kollege in Cambridge zu bewerben. Obgleich ihn Newton, den er damals persönlich kennen lernte, in seinen Bestrebungen eifrigst unterstützte, führten diese nicht zum Ziel, und Huygens mußte unverrichteter Sache nach Hause zurückkehren. Er starb nach längerem Leiden in seinem Landhaus Hofwyck in der Nähe des Haag am 8. Juli 1695. Im Jahre 1687 war ihm sein Vater vorangegangen, zwei Jahre später folgte ihm sein Bruder Constantin nach. Von den Landgütern Zelhem und Zuylichem, die Huygens, der Vater, angekauft und seinen beiden ältesten Söhnen bestimmt hatte, nannten sich diese Huygens van Zelhem und Huygens van Zuylichem[1]).

Seine hinterlassenen Schriften hatte Huygens der Universiäts-bibliothek zu Leiden vermacht mit der Bitte, daß die Professoren de Volder in Leiden und Fullenius in Franecker davon zum Drucke befördern sollten, was ihnen dafür geeignet schien. Unter dem Titel der Opera posthuma erschienen diese 1700. Eine lateinische Ausgabe aller Werke von Huygens besorgte 1724 's Gravesande, seit 1888 hat die Haarlemsche Gesellschaft der Wissenschaften die Herausgabe seiner sämtlichen Schriften begonnen; von diesem schönen Werke liegen bis jetzt zwölf Bände, welche die Korrespondenz des großen Gelehrten enthalten, vor[2]). Die Betrachtung dieser Briefe ergibt, daß

[1]) Vgl. hierüber Bosscha, Christian Huygens, übersetzt von Engelmann, Leipzig 1895, und die Aufsätze von P. van Geer in de Tydspiegel 1906 bis 1908.

[2]) La Haye 1888 bis 1905.

er die Aufgaben, die er sich gestellt hätte, während längerer Zeit bearbeitete, ehe er sie der Öffentlichkeit übergab. Es waren mathematische, astronomische und physikalische Probleme, mit denen er sich beschäftigte. Von diesen haben wir ausführlicher nur auf die letzteren einzugehen, die wir am besten nach der Zeit ihrer Veröffentlichung zusammenstellen, soweit dadurch nicht Zusammengehöriges zu sehr auseinander gerissen wird.

a) Huygens Erfindung der Pendeluhr und der Uhr mit Unruhe. Leibniz.

Die Aufgabe, Längenbestimmungen auf der See mit Hilfe genauer Zeitmesser zu machen, war um die Mitte des 17. Jahrhunderts noch nicht gelöst. Die Verhandlungen, welche die Generalstaaten mit Galilei angeknüpft hatten, waren resultatlos verlaufen, die Erblindung des Gefangenen von Arcetri, sein bald darauf erfolgter Tod hatten jede Hoffnung, von ihm eine brauchbare Methode zu erhalten, vereitelt. Diesen Mangel empfanden aber die Holländer, damals die erste unter den seefahrenden Nationen, in besonders lästiger Weise, und so ist es begreiflich genug, daß der junge Huygens nach Beendigung seiner Studienzeit darauf bedacht war, seinem Vaterlande diesen unschätzbaren Dienst zu leisten. Über Uhren mit sehr vollkommenem Mechanismus verfügte man längst, aber ihre Regulierung durch ein Horizontalpendel war unvollkommen. Andererseits war der Isochronismus des in senkrechter Ebene schwingenden Pendels durch Galilei längst entdeckt, es galt also nur die Vorteile beider Apparate zu vereinigen, das Horizontalpendel durch das isochron schwingende Pendel zu ersetzen. Der Gedanke lag so nahe, daß es nicht zu verwundern ist, daß auch andere Forscher den Weg einzuschlagen suchten. Wir wissen, daß der Danziger Astronom Hevel, daß de Roberval in gleicher Richtung tätig waren. Aber der erstere scheiterte daran, daß es ihm an Hilfe für die mechanische Ausführung seiner Idee, die uns indessen nicht überliefert ist, fehlte[1]), der letztere an der Unzweckmäßigkeit seines Planes, der dahin ging, ein Gewicht zur Aufrechterhaltung der Bewegung des Pendels zu benutzen[2]). Huygens aber übertrug lediglich durch Einschaltung eines Kronrades und Getriebes den Antrieb des Gewichtes

---

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, Bd. II, S. 261, 498, Bd. III, S. 95, 134.

[2]) Ebenda Bd. II, S. 276, 405.

auf die horizontale Pendelachse, wie er früher auf die senkrechte übertragen worden war und erreichte es so in ebenso einfacher wie genialer Weise, daß an jeder der damals in Gebrauch befindlichen Uhren mittels einer ganz geringfügigen Änderung das in senkrechter Ebene schwingende Pendel angebracht werden konnte. Er machte nun zunächst seine Entdeckung in holländischer Sprache bekannt, indem er zugleich genaue Vorschriften zur Längenbestimmung damit gab, und ließ dann 1657 in einer besonderen Schrift, die den Titel Horologium[1]) führte, eine ausführlichere Beschreibung folgen. Ein Exemplar[2]) dieser Schrift schickte er an Boulliau, der sie dem Prinzen Leopold von Medici mitteilte. Dieser aber glaubte die Priorität Galileis wahren zu müssen und schrieb in diesem Sinne an Boulliau, bezog sich in seinem Briefe aber nur auf das Zählwerk Galileis. Boulliau teilte den Inhalt des Schreibens an Huygens mit, der aber, obwohl er in die Versicherung des Prinzen einen Zweifel nicht setzen zu können glaubte, doch gewisse Bedenken zu äußern nicht unterlassen konnte. Ihre Mitteilung veranlaßte nun den Prinzen, Viviani um Aufklärung anzugehen, und dessen Antwort ist der oben bereits besprochene Bericht vom 20. August 1659, der zum ersten Male von Galileis Plan Kunde gibt. Die Kopie der beigefügten Zeichnung mit ausführlicher Beschreibung sandte darauf der Prinz an Boulliau, der die Zeichnung an Huygens weiter gab, die Beschreibung aber, man weiß nicht aus welchem Grunde, zurückbehielt, statt dessen aber eine ebenfalls ihm von Florenz aus zugegangene Zeichnung zufügte, die in der Tat ein Uhrwerk darstellt, an welchem ein Pendel in ähnlicher Weise, wie dies Huygens getan hatte, angebracht ist[3]). So mußte dieser glauben, daß in der Tat Galilei ihm in der schönen Erfindung zuvorgekommen sei, aber so schmerzlich ihm dies auch war, mehr noch peinigte ihn der Gedanke, daß man ihn des Plagiats für schuldig halten könne. Wäre das der Fall, meinte er, so wäre er des

---

[1]) In lateinischer Übersetzung als Brevis instructio de usu horologiorum ad inveniendas longitudines in Hugenii Opera varia. Lugduni Batavorum 1724, S. 195

[2]) Hierüber und das Folgende vgl. E. Gerland, Zur Geschichte der Erfindung der Pendeluhr. Wiedemanns Annalen 1874, Bd. IV, S. 585.

[3]) Die Zeichnungen sind noch in der Universitätsbibliothek zu Leiden vorhanden. Eine vorzügliche Reproduktion findet sich in Huygens Oeuvres complètes, Bd. III. La Haye 1890, S. 8 und 14.

Lebens nicht wert[1]). Es erregt auch jetzt noch unser lebhaftes Mitgefühl, wenn wir lesen, in welchem Maße Huygens unter dem Vorwurf, dessen er sich geziehen glaubte, litt, und doch möchten wir nicht wünschen, daß er ihm nicht gemacht wäre, denn er hat uns Gelegenheit gegeben, einen tiefen Einblick in die Reinheit seines Charakters, in die Hochherzigkeit seiner Gesinnung zu geben.

Könnten wir nun aber auch die aktenmäßigen Beweise für die Selbständigkeit mit der er gearbeitet hat, nicht beibringen, so wären wir doch in der Lage, aus der Konstruktion selbst den Beweis dafür zu liefern, die mit der größten Sorgfalt bis in das einzelne durchgearbeitet ist und einige wesentliche Verbesserungen gegen die früheren aufweist. Die Aufhängung des Pendels mittels einer in zwei Lagern ruhenden Achse verwarf er des zu großen Reibungswiderstandes wegen, er befestigte es, wie dies seitdem noch immer geschieht, indem er es an einem Faden aufhing. Die Freiheit der Schwingungen bewahrte er dem Pendel, indem er es eine Gabel mitführen ließ, die ihm jedesmal die verlorene lebendige Kraft ersetzte, wenn das Steigrad der Hemmung um einen Zahn weitergleitend einen Antrieb erteilte. Das Pendelgewicht machte er verstellbar, indem er es mit Hilfe einer Schraube, deren Drehung es hob oder senkte, befestigte, das treibende Gewicht endlich hing er mittels einer Rolle in die eine Schlinge einer endlosen Schnur, in deren anderer Schlinge er ein kleineres Gegengewicht anbrachte. Indem dies in Wirksamkeit trat, wenn die Uhr aufgezogen wurde, erhielt das Pendel auch dann seine Antriebe.

Den Vertrieb der Uhr übergab er dem Uhrmacher Salomon Coster im Haag, der darauf im Juni 1657 von den Generalstaaten, den Staaten von Holland und Westfriesland ein Privileg erhielt. Auf einem wirklichen Verständnis beruhte diese Bewilligung zwar nicht, denn dieselben Stände erteilten bereits im folgenden Jahre auch dem Rotterdamer Uhrmacher Simon Douw ein ebensolches, der in dem Glauben, daß Huygens die Länge seines Pendels nicht bestimmen könne, statt des längeren Pendels ein kürzeres genommen, dessen Schwingungen aber durch ein Gegengewicht langsamer zu machen versucht hatte. Die Pendeluhr führte sich indessen in Holland nur langsam ein, obwohl bereits 1658 als erste die Turmuhr in Scheveningen mit dem

---

[1]) Certes je me croirois indigne de vie. Huygens, Oeuvres complètes, Bd. II. La Haye 1889, S. 406.

neuen Regulator versehen wurde. Rascher gewöhnte man sich in Paris daran, wo bereits 1660 vier Uhrmacher, darunter Thuret, die neue Uhr verfertigten, während die erste Pendeluhr in England 1662 ein Holländer namens Fromantil herstellte[1]). Hier gab man ihr dann eine einfachere Form, die Huygens selbst annahm und in der ausführlicheren Schrift, die er 1673 unter dem Titel Horologium oscillatorium veröffentlichte, abbildete. Die Rute mit den Paletten wurde horizontal gelegt und konnte nun die Achse der das Pendel umfassenden Gabel bilden. Das Steigrad erhielt dadurch den obersten Platz in dem Uhrwerk. Großes Interesse erregte die neue Erfindung in Italien allerdings nicht immer zur Freude ihres Urhebers. Denn als im Jahre 1657 ein römischer Uhrmacher eine nach Huygens Abbildung gebaute Uhr, deren Werk er jedoch sorgfältig verborgen hatte, einer Versammlung von Mathematikern vorlegte, erntete er ungeteilten Beifall, bis ein Schüler von Huygens Freund Gregorius a St. Vincentio mit Namen de Gottigniez den wahren Sachverhalt darlegte[2]). Doch schon 1659 baute man dort Uhren nach ihrem Muster, und durch ein Modell, welches Generini angefertigt hatte, angeregt, baute Philipp Treffler, einer der deutschen Mechaniker des Prinzen Leopold, der aus Tübingen gebürtig, sich 1658 in Florenz niedergelassen hatte[3]), die Palastuhr, deren Einrichtung die zweite der durch Boulliau an Huygens gesandten Skizzen darstellte, welche freilich der letztere nicht als Verbesserung seiner Konstruktion anerkennen konnte[4]).

So sehr sich nun auch diese für Turmuhren, Zimmeruhren usw. bewährte, so war doch das Problem der Längenmessungen mit ihr noch nicht gelöst. Dies Ziel behielt Huygens aber unabänderlich im Auge, wenn er auch etwa zu erhaltender Privilegien wegen seine Pläne geheim zu halten suchte[5]). Bei den Schwankungen des Schiffes konnte

---

[1]) Hutton, A mathematical and philosophical Dictionary. Vol. 1. London 1795, S. 293.

[2]) Huygens, Oeuvres complètes, T. II. La Haye 1889, S. 472.

[3]) Huygens, Oeuvres complètes, T. III. La Haye 1890, S. 483, Note 53.

[4]) E. Gerland, Über die Erfindung der Pendeluhr. Bibliotheca mathematica, III. Folge, Bd. V, S. 234 ff.

[5]) Vgl. den Brief an Moray vom 21. November 1664 und dessen Antwort vom 5. Dez. Huygens, Oeuvres complètes, T. V. La Haye 1893, S. 147 und 156.

das Pendel seine Schwingungen nicht ungehindert ausführen, die Uhr blieb stehen. Um diesem Übelstand abzuhelfen, stellte Huygens 1673 die Uhr auf zwei aufeinander senkrecht stehenden Achsen auf, dem Pendel aber gab er die Form eines Dreiecks, an dessen nach unten gerichteter Spitze sich eine Linse aus Blei befand. Die beiden Seiten waren an Schnüren aufgehängt, die Grundlinie aber wurde von einer zweizinkigen Gabel gefaßt und von ihr aus das Pendel durch eine gespannte Feder in Bewegung gehalten. So war wenigstens das störende Gewicht beseitigt, aber die Uhren, von denen viele den Ostindienfahrern zur Prüfung mitgegeben wurden, blieben während der Fahrt doch meist stehen, und demgegenüber wollte es wenig bedeuten, daß bei einer Probefahrt über die Zuiderzee, die er selbst, obgleich von der Seekrankheit furchtbar geplagt unternahm, sich die mitgenommene Uhr zu seiner Zufriedenheit hielt.

Daß die noch nicht gehobene Schwierigkeit in der Notwendigkeit der Anwendung eines durch die Schwerkraft zur Ausführung isochroner Schwingungen gezwungenen Pendels beruhte, sah er wohl ein, das frühere Horizontalpendel würde sich viel besser geeignet haben, wenn man nur seine Schwingungen hätte isochron machen können. Da kam ihm am 20. Januar 1675 der rettende Gedanke, daß dies ja möglich sein müßte, wenn man bei ihm die regulierende Wirkung der Schwerkraft des Vertikalpendels durch die Kraft einer Feder, wie er sie in seiner Schiffsuhr bereits benutzt hatte, ersetzte. „Εὕρηκα! Ich habe es gefunden," schrieb er neben die rohe Skizze in seinem Tagebuch, die den Grundplan der jetzigen Chronometer enthält, und in der Tat hatte er damit die Idee gefaßt, die brauchbar war, um die Frage nach der Längenbestimmung auf hoher See wirklich zu lösen[1]). Der Spiralfeder der Uhr, welche das Pendel in Bewegung hält, wirkt eine zartere ebensolche entgegen, die es stets in seine Gleichgewichtslage zurückzutreiben bestrebt ist.

Bereits am 21. Januar begab er sich zu dem Pariser Uhrmacher Thuret, um von ihm ein Modell der neuen Uhr anfertigen zu lassen. Da er ihn nicht zu Hause traf, wiederholte er seinen Besuch am folgenden Tag, stellte mit Thuret ein Modell der Uhr her und nahm es mit sich, nachdem der Uhrmacher versprochen hatte, die Erfindung geheim zu halten. Das Modell zeigte er am 23. Januar Cassini,

---

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VII, 1897, S. 408 ff.

Picard und Mariotte in einer Sitzung der Akademie, während ihm an demselben Tag Thuret ein zweites brachte, das er allein verfertigt hatte. Auch Versuche hatte er damit angestellt, deren Ergebnisse er Picard und Huygens mitteilte. Am 30. Januar sandte dann der letztere ein unlösbares Anagramm an Oldenburg, um auch den Engländern gegenüber seine Priorität zu wahren[1]). Es enthielt nur alphabetisch geordnet die Buchstaben, welche den Satz bilden[2]): Axis circuli mobilis affixus in centro volutae ferreae (Die Achse des schwingenden Kreises befindet sich im Mittelpunkt einer eisernen Spirale), den er am 20. Februar an Oldenburg schickte[3]). Er konnte das unbedenklich tun, denn am 31. Januar hatte er seine Erfindung Colbert vorgelegt, der ihm Aussicht auf ein zu erteilendes Privileg gemacht hatte. Obwohl nun Thuret Anspruch auf die Miturheberschaft der neuen Uhr erhob, so gelang es doch dem Minister, den sich darüber erhebenden Streit zu schlichten und Thuret zu einer schriftlichen Erklärung zu bewegen, worin er versicherte, daß die Erfindung Huygens gehöre, und daß er keine Ansprüche daran zu machen habe. Als dann der erstere am 1. Februar das erbetene Privileg erhalten hatte, schickte er die Beschreibung seiner Uhr an den Herausgeber des Journals des Sçavans, den Abbé Gallois (1632 bis 1707), und am 25. Februar erschien sie darin im Drucke. Am 18. Februar teilte dann Oldenburg ihre Einrichtung in der Royal Society mit[4]), welche Mitteilung, wovon später zu berichten sein wird, Hooke veranlaßte, die Erfindung für sich in Anspruch zu nehmen. Von einer weiteren Ausführung seiner Uhr scheint aber Huygens abgesehen zu haben, seine weiteren Versuche zur Bestimmung der Längen machte er mit der Pendeluhr.

In dieser Zeit war Leibniz in Paris und verkehrte viel mit Huygens. Nach des letzteren Erzählung teilte er dem deutschen Gelehrten mit, daß er eine schöne neue Erfindung auf mechanischem Gebiete gemacht habe, nähere Auskunft darüber gab er ihm nicht. Als dann aber das Journal des Sçavans sie gebracht hatte, fand sich

---

[1]) Ebenda T. VII, S. 410.

[2]) Ebenda T. VII, S. 400.

[3]) Ebenda T. VII, S. 422.

[4]) Birch, History of the Royal Society. Vol. III. London 1757. Die Verschiedenheit der Daten erklärt sich dadurch, daß Huygens nach neuem, die Royal Society nach altem Stil rechnet.

Leibniz veranlaßt, in der nämlichen Zeitschrift eine ähnliche Idee der Regulierung tragbarer Uhren (principe de justesse des Horloges portatives)[1]) zu beschreiben. Wie die Huygensche besaß die von ihm vorgeschlagene zwei Spiralfedern mit senkrechten Achsen, von denen eine jede bestrebt war, der anderen entgegenzuwirken. Beide befanden sich aber in zwei Messingbüchsen, welche oben und unten mit Zahnkränzen versehen waren. Die oberen Zahnkränze beider griffen in Getriebe, auf deren Achsen sich je ein in horizontaler Ebene drehbarer kleiner Balancier befand, die unteren in ein großes horizontales Rad, dessen Umfang drei durch größere Lücken unterbrochene Zahnreihen trug. Beide Federn konnten sich nur entspannen, wenn sie dieses Rad, die Unruhe, in dem einen oder anderen Sinne drehten; dies geschah abwechselnd, die Unruhe geriet in Schwingungen, indem die Spannung der Federn langsam abnahm. Dabei ward ihre Bewegung durch die Schwingungen der Balanciers reguliert. Daß Leibniz diese Idee bereits im Jahre 1670 faßte, sagt uns ein anderes in seinem Nachlasse befindliches Blatt[2]). Wenn wir nun auch dies gänzlich unverdächtige Zeugnis für die Selbständigkeit seiner Erfindung nicht beibringen könnten, so würde dies aus deren Eigenartigkeit doch mit Sicherheit zu entnehmen sein. Aber auch hier war der Vorschlag von Huygens soviel handlicher als der seines Mitstrebenden, daß nur er praktische Bedeutung erlangt hat. Nicht Leibniz, wohl aber andere suchten sich indessen die Huygenssche Erfindung zuzueignen. So erzählt uns Leibniz im Jahre 1718 in einem Artikel des Journals des Trevaux[3]): „Es war etwa im Jahre 1674, als man die erste Idee einer

[1]) Journal des Sçavans de l'An 1675. Amsterdam 1677, S. 96. Abgedruckt in Dutens, G. W. Leibnitii Opera omnia, T. III. Genevae 1768, S. 135, und in E. Gerland, Leibnizens nachgelassene Schriften physikalischen, mechanischen und technischen Inhaltes. Abhandlungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften, XXI. Heft. Leipzig 1906, S. 122.

[2]) E. Gerland, ebenda Nr. 64, S. 126.

[3]) Ebenda Nr. 66, S. 131. Ce fut environ en 1674 qu'on fit paroitre dans le monde le premier ressort spiral reglant la montre par ses vibrations. Je fus allors à Paris, où Mr. Huguens fit éxécuter par M. Turet, fameux horloger. Mr. Hook lui fit une querelle là dessus, prétendant dans un écrit public d'avoir déja fait auparavant une montre reglée par les vibrations d'un ressort; mais on n'avoit encore point vû de montres de sa façon, au moins avec un ressort vibrant spiral. Un françois nommé Mr. Hautefeüille ententa même un Procès au Parlament de Paris, à Mr. Huguens prêtendant que c'étoit son invention; mais il fut débauté.

Spiralfeder, die durch ihre Schwingungen ein Uhrwerk regulierte, veröffentlichte. Ich war damals in Paris, wo Hr. Huygens es durch den geschickten Uhrmacher Thuret ausführen ließ. Hr. Hooke beklagte sich darüber, indem er in einer öffentlichen Schrift den Anspruch erhob, schon früher eine Uhr, die durch die Schwingungen einer Feder reguliert wurde, hergestellt zu haben; aber man hatte niemals Uhren seiner Art gesehen, am wenigsten mit einer schwingenden Spiralfeder. Ein Franzose namens Hr. Hautefeuille beabsichtigte sogar einen Prozeß vor dem Pariser Parlament gegen Hrn. Huygens anzustrengen, indem er dies als seine Erfindungen in Anspruch nahm, aber er wurde abgewiesen." Auf Hooke und seine mannigfachen Ansprüche werden wir zurückkommen müssen. Hautefeuille war 1647 als Sohn eines Bäckers in Orleans geboren und starb daselbst 1724. Er war Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Bordeaux und hat eine große Menge von Erfindungen gemacht, von denen jedoch keine zur Ausführung gelangte. Da er die Beschreibung seiner Erfindung an die Academie des Sciences einsandte, so kam sie in den Besitz von Huygens[1]), und dieser konnte sich überzeugen, daß sie in nichts anderem bestand als in einer Stahlplatte oder einer geraden Feder, die anstatt des Pendels an die Uhr angebracht und ebenso wie das Pendel durch eine Gabel in Bewegung gesetzt werden sollte[2]). Trotzdem hat Hautefeuille sein ganzes Leben daran festgehalten, daß die Idee die Unruhe durch eine Spiralfeder zu regulieren, von ihm herrühre. Seine Ansprüche hat er dann in einer 1675 erschienenen Schrift: »Factum touchant les Pendules de poche«[3]) niedergelegt und ist stets Huygens' erbitterter Gegner geblieben.

b) Huygens mathematische und mechanische Arbeiten.

Huygens' früheste wissenschaftliche Arbeiten, die er der Öffentlichkeit übergab, waren mathematische. Sie hatten die Quadratur der Hyperbel, der Ellipse und des Kreises, sodann dessen Rektifikation und die Lösung einiger wegen ihrer Schwierigkeit berühmter Aufgaben zum Gegenstand und richteten sich zum Teil gegen eine Arbeit des bereits erwähnten Jesuitenpaters und Genter Professors Gregorius

---

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VII, 1897, S. 458, wo sie abgedruckt ist.
[2]) Ebenda S. 457. Brief von Huygens an Conteſſe vom 6. Mai 1675.
[3]) Abgedruckt. Ebenda S. 439.

a Sancto Vicentio (1584 bis 1667), der zwar den ihm nachgewiesenen Irrtum nie eingestand, trotzdem aber mit Huygens in ein dauerndes freundschaftliches Verhältnis trat[1]). Weit bedeutender, weil eigenartiger, war eine Arbeit, die er 1657 als Anhang des fünften Buches der mathematischen Übungen[2]) seines früheren Lehrers, späteren Freundes und Bewunderers, des Leidener Professors Franz van Schooten jr. (gest. 1661), unter dem Titel „Abhandlung über die Berechnung von Glücksspielen" erschien. Der Gegenstand selbst war bereits von Pascal und Fermat bearbeitet, doch geht aus der Vorrede der Abhandlung hervor, daß er alles durchaus selbständig und von vorn an durchgearbeitet hat. Da die genannten französischen ersten Bearbeiter der Wahrscheinlichkeitsrechnung ihre Beweise nicht mitgeteilt hatten, so tut ihm Arago[3]) unrecht, wenn er Huygens' bescheidene Erklärung so auffaßt, daß er den Ruhm der Entdeckung der neuen Methode für sich nicht habe beanspruchen können.

Ähnlich erging es ihm mit den Gesetzen vom Stoße, die er bereits 1656 vollständig besessen haben muß, aber erst 1669 veröffentlichte[4]). Denn in dem erstgenannten Jahre teilte er Mylon den sich nur aus den allgemeinen Stoßgesetzen ergebenden Satz mit[5]), „daß ein kleinerer Körper, der gegen einen größeren stößt, demselben eine größere Geschwindigkeit mitteilen wird, wenn sich dazwischen ein Körper von mittlerer Größe befindet, als wenn der kleinere den größeren unvermittelt trifft," der, wie Bosscha[6]) zeigte, nur aus jenen Gesetzen bewiesen werden kann. Als er dann 1661 nach London kam, fand er Wren und Hooke mit Versuchen gleicher Art beschäftigt, deren

---

[1]) Bosscha, Christian Huygens. Deutsch von Engelmann. Leipzig 1895, S. 13.

[2]) Van Schooten, Exercitationum mathematicorum libri quinque Lugduni Batavorum 1657.

[3]) Arago, Oeuvres complètes. Ed. Barral, T. III. Paris 1855, S. 523.

[4]) Huygens, Règles du mouvement dans la rencontre des corps. Journal des Sçavans, Mars 1669, und The laws of motion on the collision of bodies, Philosophical Transactions von 1669.

[5]) Huygens, Oeuvres complètes, T. I. La Haye 1888. S. 448. Qu'un corps moindre allant pousser un plus grand, luy imprimera une plus grande vistesse par le moyen d'un autre qui sera mis entre deux et qui sera de moyene grandeur, que s'il le poussoit immediatement.

[6]) Bosscha, Christian Huygens. Deutsch von Engelmann. Leipzig 1895, S. 48.

Ergebnisse er jedesmal vorhersagen konnte, während es jenen nicht glücken wollte, eine Gesetzmäßigkeit aufzudecken. 1668 trug er dann die von ihm gefundenen Bewegungsgesetze, auf die er jene Lehre gegründet hatte, in aller Ausführlichkeit der Pariser Akademie der Wissenschaften vor, 1669 aber veröffentlichte Wren in den Philosophical Transactions Gesetze des Stoßes elastischer Körper, die mit den von Huygens gefundenen übereinkamen; von dem beigefügten Beweis aber sagt er selbst[1]), „daß es nach seiner Meinung keinen Beweis für das gibt, was er in seiner Schrift über die Bewegung behauptet habe, wenn man nicht eine große Zahl anderer Voraussetzungen macht, die vielleicht wieder andere Beweise nötig machen würden." Da in den Transactions des nämlichen Jahres eine Arbeit von Wallis über den Zusammenstoß unelastischer Körper erschien, mit welcher Aufgabe sich Huygens freilich nicht beschäftigt hatte, so zögerte er nicht länger mit der Mitteilung der seinigen, doch hat man daraus die nicht zutreffende Folgerung gezogen, daß zuerst Wren, dann Wallis und dann erst Huygens die Stoßgesetze entwickelt hätten[2]).

In dieser Schrift teilte er aber nur die Ergebnisse seiner Untersuchung, nicht deren Beweise mit. Diese wurden erst nach seinem Tode 1703 von 's Gravesande in dem zweiten Bande der Opuscula posthuma mitgeteilt[3]). Daraus ersieht man, daß Huygens dafür die relative Bewegung zugrunde legte, relativ in Hinsicht auf andere Körper, welche als ruhend betrachtet werden, aber auch, daß er die Folgerung des Des Cartes, daß die Bewegungsgröße, also das Produkt aus Masse in Geschwindigkeit, welches der Philosoph sogar für das Weltall unveränderlich angesehen hatte, ihren Wert behielt, keineswegs für richtig hielt. Diejenige zweier Körper kann vielmehr durch ihren Stoß wachsen oder abnehmen. Unverändert bleibt dagegen dabei die Summe der Produkte aus den Massen in die Quadrate ihrer Geschwindigkeiten, oder wie Leibniz sie 1695 nannte, die Summe

---

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VI. La Haye 1895, S. 359 schreibt Oldenburg an Huygens. Monsieur Wren dit, qu'à son advis, il n'y a point de demonstration de ce qu'il a advancé dans son escrit du mouuement, sans qu'on suppose un grand nombre d'autres postulata, qui demanderoient, peut d'estre, d'autres demonstrations.

[2]) Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik, 3. Auflage. Leipzig 1887, S. 118.

[3]) Unter dem Titel De motu corporum ex percussione.

ihrer lebendigen Kräfte. So wurde Huygens' Lehre vom Stoße der Ausgangspunkt jenes heftigen und anhaltenden Streites zwischen den Kartesianern und ihrer Gegner über das wahre Kraftmaß eines bewegten Körpers, der u. a. namentlich auch in dem Briefwechsel zwischen Papin und Leibniz einen großen Raum einnimmt[1]) und namentlich von letzterem mit großer Lebhaftigkeit ausgefochten wurde.

Aber nicht nur den Begriff der lebendigen Kraft haben wir auf Huygens zurückzuführen, auch die Idee von deren Erhaltung fand „bei ihm zum erstenmal einen bestimmten, wenn auch nicht in völliger Allgemeinheit formulierten Ausdruck"[2]). Er ist in der 1673 erschienen Schrift: Horologium oscillatorium enthalten, die freilich ähnlich wie seine erste Arbeit über den Stoß zum Teil nur die Ergebnisse seiner Untersuchungen enthält, während die von ihm damals zurückgehaltenen Beweise der Sätze über die Zentrifugalkraft den Inhalt seiner ebenfalls erst 1703 veröffentlichten Schrift De vi centrifuga bildete. In beiden behandelt er zunächst die Theorie des Pendels und sprach einige der Sätze, die er gefunden hat, dem Wortlaute nach aus, bewogen durch die Erfahrungen, die er mit seiner Theorie des Stoßes gemacht hatte, welche er am 6. Februar und 4. September in Anagrammen verborgen zur Mitteilung an die Royal Society deren Sekretär Oldenburg übersandt hatte. Sie waren so abgefaßt, daß unter die Buchstaben des Alphabetes die Zahl ihres Vorkommens in dem zu versteckenden Satz geschrieben war, so daß an eine Entzifferung in keiner Weise gedacht werden konnte[3]). Der Gedankengang seiner Untersuchung der Pendelbewegung schloß sich an Galileis Arbeiten über den Fall auf der schiefen Ebene an. Er macht darauf aufmerksam, daß die in beliebigen Zeiten von fallenden Körpern zurückgelegten Wege sich wie die Quadrate der am Ende dieser Zeiten erzielten Geschwindigkeiten verhalten, wenn sie im nämlichen Augenblick ihre Bewegung anfingen[4]), fügt dann aber hinzu, daß, wenn ein schwerer Körper am Ende seines Absteigens angelangt ist, er sich ebenso hoch wieder erhebt, wie er herab-

---

[1]) Vgl. Gerland, Leibnizens und Huygens Briefwechsel mit Papin. Berlin 1881, S. 76.

[2]) Dühring a. a. O., S. 133.

[3]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VI. La Haye 1895, S. 355 und 487.

[4]) Huygens, Horologium oscillatorium. Pars II, Propositio III. Opera varia, S. 55.

gestiegen ist[1]). Denn da ihm die Bewegung durch die Schwerkraft erteilt ist, so würde es absurd sein, anzunehmen, er könne höher steigen, als er gefallen ist. Dies gilt aber auch für mehrere zusammenhängende schiefe Ebenen und somit auch für eine nach einer Kurve gekrümmte Bahn, da man sich diese aus einer großen Zahl verschieden geneigter Ebenen zusammengesetzt denken kann[2]). Da aber im allgemeinen die Teile einer von einem schweren Körper durchlaufenen Kurve, also namentlich des Kreises, nicht in gleichen Zeiten durchlaufen werden, wie Galilei geglaubt hatte, so suchte er zunächst nach der Tautochrone, der Kurve, welche diese Eigenschaft besitzt, und fand sie in der Zykloide[6]).

Er untersuchte nun deren Eigenschaften genauer und fand, daß sie ihre eigene Evolute sei[4]), dehnte dann aber die gleichen Untersuchungen auch auf andere Kurven aus und wurde so der Schöpfer der Evolutentheorie, deren noch übliche Nomenklatur er einführte. Die Eigenschaft der Zykloide setzte ihn in den Stand, ein wirklich isochron schwingendes Pendel herzustellen, indem er den Aufhängefaden zwischen zwei nach Zykloiden gekrümmten Blechkulissen schwingen und so das Pendelgewicht eine Zykloide beschreiben ließ[5]). Er hat mehrere Uhren mit tautochron schwingenden Pendeln bauen lassen, sah aber selbst wohl bald ein, daß die Kulissen überflüssig waren, da ja die Elongationen des Pendels immer den gleichen Wert behielten und es also auch ohne sie isochrone Schwingungen ausführte. Doch aber erfüllte ihn auch später noch seine schöne Entdeckung mit Freude, wie er denn noch mehrere Jahre nach ihrer Ausführung die Worte in ein nur für ihn bestimmtes Tagebuch aufschrieb: „Wenn sie doch Galilei gesehen hätte"[6]).

Aber auch auf die Konstruktion einer zweiten Uhr führte sie ihn, die er freilich niemals ausgeführt hat, auf die durch ein konisches Pendel regulierte[7]). Das an zwei Fäden aufgehängte Pendel sollte dabei Schwingungen ausführen, deren Bahn ein horizontaler Kreis war. Dazu mußte sein Aufhängepunkt seitlich von der durch die Betriebs-

---

[1]) Ebenda Propositio IV, S. 57.

[2]) Ebenda Propositio IX, S. 64.

[3]) Ebenda Pars II. Propositio 22, S. 77.

[4]) Ebenda Pars III. Propositio 6, S. 96.

[5]) Ebenda Pars I, S. 39.

[6]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VII. La Haye 1897, S. 314, Note 5. Utinam vidisset Galileus.

[7]) Huygens, Horologium oscillatorium. Pars V. Opera varia, S. 186.

kraft zur Drehung angeregten Achse liegen und mit ihr durch eine horizontale Stange verbunden sein. Da aber seine Umdrehungszeiten nur dann ungeändert bleiben, wenn wenigstens der obere Teil des Fadens ein Paraboloid beschreibt, so befestigte Huygens so eine nach einer Parabel gekrümmte Kulisse an dem Endpunkt der das Pendel tragenden Stange, daß sich der obere Teil des Fadens an sie anlegte, und zwar auf um so größere Länge, je kleiner der vom Pendelkörper beschriebene Kreis wurde. Auch diese Erfindung suchte ihm, wie wir sehen werden, Hooke streitig zu machen.

Zur Messung der Fallgeschwindigkeit hatte ihm schon früher die Pendelbewegung wohl geeignet geschienen[1]), und so entwarf er, als ihm Moray am 10. Juli 1664 mitteilte, daß Hooke an einer Fallmaschine arbeitete[2]), ohne dessen Plan zu kennen, selbst eine solche, die er Moray am 29. August 1664 beschrieb[3]), während Hooke mit der Mitteilung der seinigen zurückhielt. Von dieser wird später die Rede sein; bei der Huygensschen sollte ein Gewicht an einem gespannten Faden herabgleiten und dabei einen Pergamentstreifen mitnehmen, auf welchem das mit einer Spitze versehene Pendel halbe Sekunden aufzeichnete. Auf dem Streifen aber waren, soweit sich aus der beigefügten Zeichnung ersehen läßt, die Fallräume angegeben[4]).

Alle diese Apparate benutzten nur das einfache Pendel. Aber er hat sich nicht auf dieses beschränkt, eine seiner schönsten Arbeiten nahm nun die Untersuchung des zusammengesetzten auf. Sie füllt den vierten Abschnitt des »Horologium oscillatorium« aus, und dieser ist durch sie für den Fortschritt der Dynamik von grundlegender Bedeutung geworden. Der wichtige Satz, der als erste Hypothese dieses Abschnittes gestellt ist, heißt: „Wenn beliebige Gewichte vermöge ihrer Schwere sich zu bewegen anfangen, kann ihr gemeinsamer Schwerpunkt nicht höher steigen, als er sich beim Beginn der Bewegung befand[5])." Er gilt nicht nur für einen einzigen und für eine Anzahl starr miteinander

---

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, T. V. La Haye 1893, S. 101.

[2]) Ebenda S. 81.

[3]) Ebenda S. 108.

[4]) Ebenda S. 150.

[5]) Huygens, Horologium oscillatorium Pars IV. Hypothesis I. Opera varia, S. 121. Si pondera quodlibet, vi gravitatis suae, moveri incipiant; non posse centrum gravitatis ex ipsis compositae altius, quam ubi incipiente motu reperiebatur, ascendere.

verbundener Körper, sondern auch für freie, da sie so durch starre Linien mit ihrem Schwerpunkt verbunden gedacht werden können, daß sie nur einen einzigen Körper ausmachen. „Diese unsere Hypothese," fügt er dann zu ihrer besseren Erläuterung hinzu[1]), „wird um so weniger Zweifel erregen, da wir zeigen werden, daß sie nichts anderes bezwecke, als daß, was niemand jemals geleugnet hat, schwere Körper nie aufwärts fallen", und weiter: „sie gilt auch für flüssige Körper, und es kann durch sie nicht nur alles, was Archimedes über die schwimmenden Körper sagt, nachgewiesen werden, sondern auch mehrere andere Sätze der Mechanik. In der Tat, wenn die Erfinder neuer Werke, welche irrigerweise die immerwährende Bewegung zu verwirklichen suchen, sie zu gebrauchen wüßten, würden sie leicht ihre eigenen Irrtümer begreifen und erkennen, daß diese Aufgabe auf mechanischem Wege auf keine Weise zu lösen sei[2])." So gelingt es ihm, das Schwingungszentrum zu finden, welches er definiert[3]) „als den Punkt in der Mittellinie, welcher soweit von der Achse absteht, als die Länge des einfachen mit dem zusammengesetzten isochron schwingenden Pendels beträgt," und kann folgende Regel zur Bestimmung des Schwingungszentrums aufstellen[4]): „Wenn für ein gegebenes aus beliebigen Gewichten zusammengesetztes Pendel die einzelnen Gewichte mit den Quadraten ihrer Abstände vom Oszillationsachse multipliziert werden und die Summe ihrer Produkte dividiert wird durch die Summe der Produkte der Gewichte in den Abstand des allen gemeinschaftlichen

---

[1]) Ebenda Pars IV. Hypothesis I, S. 121. Ipsa vero hypothesis nostra quominus scrupulum moveat, nihil aliud sibi velle eam ostendemus, quam quod nemo unquam negavit, gravia nempe sursum non ferri.

[2]) Ebenda S. 122. Haec autem hypothesis nostra ad liquida etiam corpora valet, ac per eam non solum omnia illa, quae de innatantibus habet Archimedes, demonstrari possunt, sed et alia pleraque Mechanicae theoremata. Et sanè, si hac eadem uti scirent novorum operum machinatores, qui motum perpetuum irrito conatu moliuntur, faciles suos ipsi errores deprehenderent, intelligerentque rem eam mechanica ratione haudquaquam possibilem esse.

[3]) Ebenda S. 120. Punctum in linea centri, tantum ab axe oscillationis distans, quanta est longitudo penduli simplicis quod figurae isochronum sit.

[4]) Ebenda Pars IV. Propositio 5, S. 127. Dato pendulo ex ponderibus quotlibet composito, si singula ducantur in quadrata distantiarum suarum ab axe oscillationis, et summa productorum dividatur per id quod fit ducendo ponderum summam, in distantiam centri gravitatis communis omnium ab eodem axe oscillationis; orietur longitudo penduli simplicis compositi isochroni, sive distantia axis a centro oscillationis ejusdem penduli compositi.

Schwerpunktes von derselben Oszillationsachse, so erhält man die Länge des einfachen, dem zusammengesetzten isochronen Pendels oder den Abstand zwischen der Achse und dem Oszillationszentrum des nämlichen zusammengesetzten Pendels."

Indem er dann weiter den Satz aufstellte[1]: „Schwingungszentrum und Aufhängepunkt können miteinander vertauscht werden," wurde er auch der Erfinder des Reversionspendels. Sollte dieses aber mit Vorteil angewendet werden können, so mußte der Schwingungsmittelpunkt für verschieden geformte Pendelkörper bestimmt werden, und nachdem Huygens die Lösung einer Reihe dahin zielender Aufgaben angegeben hatte, ging er dazu über, daraus einige Folgerungen zu ziehen. Er empfahl die Länge des Sekundenpendels als Längeneinheit zu nehmen, deren Vorteil in der Möglichkeit lag, sie überall leicht bestimmen zu können, und gab das Verhältnis dieses von ihm vorgeschlagenen neuen Fußes, für den er den Namen des »pes Horarius« vorschlug, zum Pariser wie 864 : 881 an[2]). Aber auch den Fallraum während der ersten Sekunde der Bewegung eines frei fallenden Körpers bestimmte er mit Hilfe seines Pendels zu $15^1/_{12}$ Pariser Fuß, woraus sich in Meter umgerechnet die Größe von g zu 9,75 ergibt[3]).

Die von Huygens vorgeschlagene Längeneinheit ist nie eingeführt worden, obwohl sie gelegentlich der Ausarbeitung des metrischen Maßes ernstlich in Frage kam. Freilich mußte dann die Bestimmung der Breite, in der die Pendellänge gemessen werden sollte, hinzukommen. Die Tatsache der Abplattung der Erde, die dies fordert, war ihm bei Abfassung des »Horologium oscillatorium« noch unbekannt, obwohl er aus den Galileischen Fallgesetzen bereits die Gesetze der Zentrifugalkraft quantitativ abgeleitet hatte, über deren qualitative Bestimmung Borelli nicht hinausgekommen war[4]). Er fügte 13 sie betreffende Sätze jenem Werke an, ohne die Beweise zu geben[5]); diese sind erst nach seinem Tode von 's Gravesande mitgeteilt und finden sich in der Schrift: De vi centrifuga[6]). Er entwickelt darin den

[1]) Ebenda Pars IV. Propositio 20, S. 154.

[2]) Ebenda Pars IV. Propositio 25, S. 179.

[3]) Ebenda Pars IV. Propositio 26, S. 183.

[4]) Borelli, Theoria mediceorum planetarum ex causis physicis deducta. Florent. 1666.

[5]) Huygens, Horologium oscillatorium. Pars V, S. 188.

[6]) Hugenii Opuscula posthuma, Tomus II. Amstelodami 1703, 2. Aufl. 1723, S. 107. Christian Huygens, Über die Zentrifugalkraft. Herausg.

Ausdruck für ihre Größe, indem er wie beim Pendel von Galileis Fallgesetzen ausgeht. Indem er weiter das Prinzip der relativen Bewegung seinen Erörterungen zugrunde legt, kommt er zu dem Ergebnis, daß die Zentrifugalkraft nichts anderes ist als eine Reaktion. Die Wirkung, welche den rotierenden Körper von dem Zentrum sich zu entfernen zwingt und sogar soweit geht, daß sie die ihn haltende Schnur zerreißt, untersuchte er experimentell, indem er einen schweren Gegenstand auf einem in der Mitte durchbohrten und um einen Zapfen drehbaren Tisch befestigte[1]). Dieser Apparat dürfte eher eine Zentrifugalmaschine zu nennen sein als die rotierende V-förmige Röhre Borellis[2]) oder die sich drehende Schale Guerickes[3]), in denen zum Zwecke der Erklärung der Planetenbewegungen das Ansteigen von Kugeln beobachtet wurde. Im weiteren Verlauf seiner Untersuchungen gab Huygens dann auch die Theorie des konischen Pendels, das später als Zentrifugalregulator der Kraftmaschinen so wichtig werden sollte.

c) Huygens und Papins Versuche mit der Luftpumpe. Weitere Apparate des ersteren.

Als Huygens im Jahre 1661 in London weilte, wohnte er in der Königlichen Gesellschaft Versuchen bei, welche mit der Boyleschen Luftpumpe angestellt wurden. Sie interessierten ihn im höchsten Maße und in den Haag zurückgekehrt, gab er sich sogleich daran, eine solche Maschine für sich herzustellen. Er ließ einen Stiefel von einem Instrumentenmacher verfertigen; als er ihn aber erhielt, war[4]) „die Röhre von so ungleicher Weite, daß man keine oder wenig Luft aus der Flasche herausbekommen konnte". Diese umgestürzte Flasche mit weitem Halse sollte nämlich als Rezipient dienen, das Pumpenrohr aber in einer ebenen Platte münden, auf welche der Rezipient mittels eines

von F. Hausdorff. Leipzig 1903. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 138. Die Übersetzung rührt von Cay von Brockdorff her.

[1]) Huygens, Discours de la cause de la pesanteur. Ausgabe W. Burckhardt. Lipsiae ohne Datum (1886), S. 97.

[2]) Borelli, Theoria mediceorum planetarum ex causis physices deducta. Florentiae 1666, S. 48.

[3]) Guericke, Experimenta nova etc. Amstelodami 1672, S. 147.

[4]) Huygens, Oeuvres complètes, Tome III. La Haye 1890, S. 370. De buys was so ongelyck van wydte, dat men geen of weynich lucht uyt de fles kost werken.

Kittes aus Terpentin und Wachs luftdicht aufgesetzt werden sollte. So wendete er als erster den Teller der Luftpumpe an. Erst nachdem er dann im November 1661 einen Stiefel aus massivem Kupfer erhalten hatte, gelangen die Versuche. Mit Stolz berichtet er seinem Bruder Ludwig[1]), daß es ihm gelungen sei, während einer ganzen Nacht eine Blase ausgedehnt zu erhalten, was Boyle nie erreicht habe. Daraus ist aber nicht auf ein nicht völlig freundschaftliches Verhältnis beider Forscher zu schließen, die stets im besten Einvernehmen und in dauernder durch Moray vermittelter brieflicher Verbindung blieben[2]). Versuche mit Tieren schlossen sich an, auch eine Glasträne zerbrach er darin, die aber „ohne jeglichen Respekt vor dem leeren Raum zu Staub zerfiel[3])." Es gelang ihm, die Verdünnung soweit zu treiben, daß nur noch $^1/_{100}$ Luft zurückblieb[4]). Er selbst hat seine Luftpumpe nicht abgebildet, wir kennen sie aber aus einer gleich zu erwähnenden Schrift Papins. Danach wich sie nicht unwesentlich von der von Boyle und Guericke ab. Der Stiefel war in einem Dreifuß so befestigt, daß die die Kolbenstange einlassende Öffnung nach oben gerichtet war. Die Kolbenstange hatte Zähne und wurde mittels Getriebe und Kurbel in Bewegung gesetzt, deren Achse auf der Kopfplatte des Dreifußes gelagert war. In derselben Platte war an der Seite der Teller eingelassen, von dem ein in einem Viertelkreis gebogenes Rohr bis zur Mitte des Stiefels ging, in den es durch einen einfach durchbohrten Hahn abschließbar mündete. In der Mitte der unteren Stirnfläche hatte der Stiefel ein kleines Loch, welches mit dem Finger verschlossen werden konnte. Dies geschah, während der Kolben emporgezogen wurde. Hatte er seinen höchsten Stand erreicht, so wurde auf einen Augenblick der Hahn geöffnet, nach seinem Verschluß der Kolben wieder herabgestoßen und dabei der Finger gelüftet[5]). Der Beobachter mußte also stets eine Hilfe zur Bedienung der Kurbel haben.

[1]) Ebenda T. III, S. 395.

[2]) Damit sei ein mir früher untergelaufener, durch einen Lesefehler verursachter Fehler verbessert, den Bosscha mit Recht gerügt hat (Christian Huygens. Leipzig 1895, S. 62).

[3]) Huygens, Oeuvres complètes, T. III, S. 397. — [4]) Ebenda T. III, S. 408.

[5]) Abbildungen der Luftpumpe finden sich als Kopien des Originals in Papins Nouvelles Expériences du vuide Paris 1674 in De la Saussaye et Péan, la vie et les ouvrages de Denis Papin. Paris et Bloi 1869, in Gerland, Wiedemanns Annalen 1877, Bd. II, Taf. VI, Fig. 3, und in Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 197.

Außer der Erfindung des Tellers verdankt man aber Huygens auch die der Barometerprobe[1]). Er stellte sie mit Hilfe eines langhalsigen Glaskolbens her, den er mit Wasser füllte, und nachdem er die untere Öffnung in Wasser getaucht hatte, unter den Rezipienten brachte. Beim Pumpen sank das Wasser herab, ließ er es wieder emporsteigen, so blieb oben ein kleines Luftbläschen zurück, das aber langsam wieder aufgesaugt wurde. Dabei beobachtete er, daß das Wasser in der Barometerprobe auch bei längeren Pumpen nicht herabfiel, wenn es durch mehrmaliges Auspumpen völlig von der gelösten Luft befreit war. Es erwies sich deshalb als zweckmäßig, als Flüssigkeit in der Barometerprobe Quecksilber zu verwenden, was die weitere Bequemlichkeit ergab, daß der Glaskolben durch ein einfaches oben geschlossenes Glasrohr ersetzt werden konnte.

Diese letztere Verbesserung brachte er aber erst bei späteren Versuchen an, die er 1670 in Paris anstellte, oder vielmehr anstellen ließ. Dort hatte sich Papin, von dem demnächst mehr die Rede sein wird, an ihn angeschlossen und die Versuche mit der Luftpumpe übernommen. Er veröffentlichte sie darauf in seiner bereits zitierten Erstlingsschrift: »Nouvelles Expériences du vuide avec la description des Machines, qui servent à les faire«, Paris 1674, von der nach De la Saussaye und Péan nur noch zwei Exemplare im Besitze der Royal Society und der Bibliothek des Britischen Museums vorhanden sind. Obwohl die Widmung mit den Worten beginnt[2]): „Diese Versuche gehören Ihnen, da ich sie fast alle nach Ihrer Angabe angestellt habe," so hat man doch auf ihr Zeugnis hin Papin lange für den Erfinder des Tellers der Luftpumpe halten zu müssen geglaubt. Ist er das nun auch nicht, so hat er doch nicht unterlassen, wesentliche Verbesserungen an der Luftpumpe anzubringen, deren Zweck war, ein bequemes Arbeiten mit der Maschine, ohne eines Gehilfen zu bedürfen, möglich zu machen. Dazu ging er auf die Form zurück, die Boyle ihr gegeben hatte, ließ aber die Kolbenstange in einer Art Steigbügel enden, in den der Experimentator hineintrat und durch das Gewicht seines Körpers das Auspumpen besorgte. Den Teller legte er auf den Stiefel, setzte aber in das Verbindungsrohr einen Hahn mit einer Durchbohrung und einer

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, Bd. III, S. 414. Journal des Sçavans pour l'Année 1672—1674. Nouvelle Edition Paris 1724, S. 60.

[2]) Ces expériences sont à vous, puisque je les ay presque toutes faites par vostre ordre.

Rille auf dem Umfang, die mit jener einen Winkel von 90° bildete. War nun der Hahn so gestellt, daß der Stiefel mit dem Rezipienten kommunizierte, so trat der mit der Pumpe Arbeitende in den Steigbügel und verdünnte die Luft. Darauf drehte er den Hahn um 90°, so daß der Stiefel mit der freien Luft kommunizierte und der Rezipient abgeschlossen war und stieß die Luft aus dem Stiefel austreibend, den Kolben wieder empor, während er bei Drehung um 90° in dem entgegengesetzten Sinne den Rezipienten mit der äußeren Luft in Verbindung setzen konnte. Da Papin aber fand, daß es nötig sei, um einen befriedigend luftleeren Raum zu behalten, immer weiter zu pumpen, so baute er, als er später bei Boyle arbeitete, eine Luftpumpe mit zwei Stiefeln[1]) und Ventilen, die er aus Lammsleder herstellte, unterließ aber die Dichtung mit dem Luftpumpenkitt, da man sich dabei doch nur unnötigerweise die Finger beschmutzte. Solche Ventile hatte auch der Altdorfer Professor Johann Christian Sturm (1635 bis 1703) angewendet. Er hatte den Stift, der bei der Guerickeschen Luftpumpe dazu diente, weggelassen, statt dessen aber im Kolben ein Ventil angebracht, durch welches in Verbindung mit einer Öffnung in der hohlen Kolbenstange die Luft beim Herabstoßen des Kolbens entweichen konnte[2]). In der Veröffentlichung dieser zweckmäßigen Neuerung war er Papin um sechs Jahre zuvorgekommen, zuerst angewendet hat er diese Ventile aber nicht, denn solcher bediente sich bereits Papin in den Versuchen, die er für Huygens anstellte, um einen ausgepumpten Rezipienten lange luftleer zu halten[3]). Wir wissen nicht, ob Sturm von diesen Versuchen Kenntnis hatte. Es ist durchaus wahrscheinlich, daß er selbständig auf diese Ventile gekommen ist, deren Anwendung ja nahe genug lag. So hat Papin der Luftpumpe den doppelt durchbohrten Hahn zugefügt und die zweistiefelige Luftpumpe zuerst angegeben, aber er hat auch, sowohl mit seiner ersten als auch mit dieser seiner zweiten Konstruktion eine große Menge von Versuchen angestellt. Dazu war namentlich die letztere recht geeignet, da ihre Kolben an beiden Enden eines über eine Rolle von großem Durchmesser gelegten Seiles hingen und über ihnen an dem Seil zwei

---

[1]) Sie wurde zuerst abgebildet in Boyle, Experimentorum novorum Physico-Mechanicorum continuatio secunda. Genevae 1682. Icon. I.

[2]) Sturm, Collegium experimentale curiosum. Norimbergae 1676, S. 100.

[3]) Gerland, Leibnizens und Huygens Briefwechsel mit Papin nebst der Biographie des letzteren. Berlin 1881, S. 10.

Tritte angebracht waren, auf denen der Experimentator stand und, indem er nach Art des Bälgetreters der Orgel sein Gewicht bald auf den einen, bald auf den anderen verlegte, das Spiel der Pumpe in fortdauerndem Gange hielt, während er die Vorgänge in dem sich vor ihm befindlichen Rezipienten bequem beobachten konnte.

Huygens hatte die Dichtung des Kolbens und der Hähne durch Wasser verworfen und doch einen höheren Grad der Verdünnung erzielt als seine Vorgänger. Es ist auffallend, daß Papin sie nicht entbehren zu können glaubte, und der Grund dafür kann wohl nur in der solideren Ausführung der Huygensschen Pumpe gesucht werden. Wie hoch die mechanische Kunst damals in Holland entwickelt war, beweist eine noch in Leiden vorhandene vortrefflich gearbeitete Luftpumpe von Samuel van Musschenbroek, welche den doppelt durchbohrten Hahn an einer an Huygens' Konstruktion erinnernden Maschine anbrachte und auch von der Dichtung durch aufgegossenes Wasser absah[1]). Diese tatkräftige Hilfe ermöglichte es denn auch dem Leidener Professor Wolferd Senguerd (1646 bis 1724), eine Luftpumpe mit doppelt durchbohrtem Hahn von der Form der ersten Guerickeschen zu konstruieren[2]). Nicht wenige dieser von Jan van Musschenbroek, dem Neffen Samuels, haben sich erhalten und zeugen für die Geschicklichkeit ihres Verfertigers. Wenn sie auch die Dichtung mit Wasser beibehalten haben, so möchte man das mehr auf Rechnung des Herkommens, als der Notwendigkeit, die Luft besser abzusperren, setzen. Es erwies sich bald als ein Nachteil der Ventilluftpumpe, daß sie so weitgehende Luftverdünnung wie die Hahnluftpumpe nicht erreichen ließ. Daß der Grund dafür in der Steifheit der Ventile zu suchen sei, deren Spiel immer eine gewisse Spannung voraussetzt, erkannte Papin, und dies veranlaßte ihn bei dieser Pumpe eine Einrichtung zur Steuerung des den Rezipienten mit dem Stiefel in Verbindung bringenden Ventils zu treffen[3]). Ein Gewicht, welches an einem die Wand des Stiefels durchdringenden

---

[1]) Sie ist abgebildet in Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 200.

[2]) Senguerdii Philosophia naturalis. Lugd. Bat. 1685, 2. Ed., Titelblatt.

[3]) Papin, Augmenta quaedam et experimenta nova circa antliam pneumaticam facta partim in Anglia, partim in Italia. Londini 1687. Auch Acta Eruditorum 1687, S. 324.

eisernen Stängelchen hing, preßte für gewöhnlich das Ventil in seinen Sitz, beim Pumpen mußte es durch die Hand gesteuert werden. Wenn diese Pumpe jemals ausgeführt worden ist, wird sie schwerlich zur Zufriedenheit ihres Erfinders gearbeitet haben. Denn, da das Stängelchen mit Wachs eingesetzt worden war, konnte sie unmöglich lange dicht halten. Indessen waren damit die an der Kolbenpumpe anzubringenden Verbesserungen abgeschlossen, bis auf eine, die der Folgezeit bewahrt blieb, eine Einrichtung zu treffen, welche das Spiel der Hähne oder Ventile durch die Pumpbewegung selbst bewirkte.

Über die Versuche, welche er mit seiner Luftpumpe anstellte, hat Papin in der zitierten Schrift berichtet. Namentlich suchte er das Gewicht der Luft genauer zu bestimmen, als dies Guericke und Boyle getan hatten. Er ließ zu diesem Behufe die Luft in einen äquilibrierten luftleer gepumpten Glaskolben treten und bestimmte dessen Gewichtszunahme. Diese Arbeitsweise war wohl bequemer als die bereits 1684 von Jakob Bernoulli[1]) ausgeübte, konnte aber nicht die gleiche Genauigkeit erreichen. Denn einmal äquilibrierte Bernoulli das luftleer gemachte große Glasgefäß, das er zu seinen Versuchen benutzte, mit Luft und nach dem Auspumpen ohne Luft, während es in Wasser getaucht war, und zum andern öffnete er den Hahn des luftleer gemachten Gefäßes unter Wasser und bestimmte so das Volumen der zurückgebliebenen Luft.

Bei dem Verhältnis, in dem Papin zu Huygens stand, ist es wohl möglich, daß der letztere für seine späteren Verbesserungen an der Luftpumpe die eine oder die andere Anregung von diesem empfing, ihm aber diese seine Erfindungen nicht zueignen zu wollen, hat man jedoch keinen Grund. Dagegen hatte sich Huygens, als er im Jahre 1672 zwei neue Barometerkonstruktionen veröffentlichte, gegen den Vorwurf eines an Des Cartes verübten Plagiats zu verteidigen.

Sein Plan bestand darin, den Ablesungen des Quecksilberbarometers die größere Genauigkeit des Wasserbarometers zu verleihen, indem er die Schwankungen des ersteren auf eine Wassersäule von mäßiger Höhe übertrug. In einem Brief an den Herausgeber des

[1]) Bernoulli, Nova Ratio aëris ponderandi. Excerpta ex Ephemeridibus Parisiensibus 31. Juli 1684 traducta. Acta Eruditorum 1685, S. 433. Auch Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 269.

Journal des Sçavans, Abbé Gallois, machte er zwei Vorschläge[1]. Nach dem ersten sollte auf den oberen Meniskus eines Gefäßbarometers Wasser gebracht werden, indem das Rohr entsprechend verlängert und so mit einer zylinderförmigen Erweiterung versehen wurde, daß der obere Quecksilbermeniskus sich immer darin befand. Abgesehen von der immerhin bedeutenden Länge von 4,5 Fuß zeigte es sich, daß die geringe Luftmenge, die das Wasser ausgibt, sich mit der Zeit vergrößerte; er hielt es also für zweckmäßiger das Wasser auf den unteren Meniskus eines Heberbarometers zu bringen, das an Stelle beider Menisken zylinderförmige Erweiterungen aufwies, das Wasser aber vor dem Verdunsten durch Aufbringen eines nicht erstarrenden und nicht sich verflüchtigenden Tropfens Öl zu schützen, zu welchem Zweck süßes Mandelöl geeignet schien. Als nun Huygens Vorschläge im Journal des Sçavans vom 12. Dezember erschienen waren, wurde er durch Mariotte darauf aufmerksam gemacht[2], daß Des Cartes bereits die in dem ersten ausgesprochene Idee gehabt habe, wie aus einem von Pascal im Anhange zu seinem 1663 erschienenem Traité de l'Equilibre des Liqueurs abgedruckten Brief von Pierre de Chanut (1600 bis 1662) vom 24. September 1650 hervorgehe. Huygens bedauerte in einem am 10. Februar 1673 an Oldenburg geschriebenen Briefe, daß ihm dies entgangen sei, und schickte in dem nämlichen Monat an Gallois eine Berichtigung seiner früheren Arbeit, in der er u. a. sagte[3]: „Es ist mir sehr unangenehm, daß dieser Einwand, welcher richtig war, mir so spät zu Gesicht kam, so daß man mich im Verdacht haben könnte, ich wolle mir die Erfindung eines anderen aneignen, was mir von allem in der Welt am verächtlichsten scheint und was ich immer auf das sorgfältigste zu vermeiden gesucht habe." Diese Erklärung von Huygens wurde leider nicht veröffentlicht, da in dem Erscheinen des Journals von 1672 bis 1674 eine Unterbrechung eingetreten war[4].

---

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VII, 1897, S. 238. Journal des Sçavans vom 12. Dec. 1672. T. III. Amsterdam 1673, S. 137. Opera Varia, Vol. I, Lugduni Batavorum 1724, S. 276.

[2]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VII, 1897, S. 253, 255.

[3]) Ebenda S. 255: »Je fus bien fasché de ce que cet advertissement qui estoit veritable m'avoit este donnè si tard voyant que l'on me pourroit soupconner de m'estre voulu attribuer l'invention d'autruy, qui est la chose du monde qui me semble la plus indigne et que j'ay tousjour taschè d'eviter avec plus de soin.

[4]) Ebenda T. VII, 1897, S. 117, Note 9.

Der zweite der von Huygens gemachten Vorschläge sollte der Ausgangspunkt des Luftthermometers von Amontons werden, von dem noch ausführlich die Rede sein wird, und welchem Huygens 1673 gegenüber dem Belgischen und dem Drebbelschen den Vorzug einräumte, indem er an jenem die Abhängigkeit vom Luftdruck, an diesem die Eigenschaft des Alkohols, mit der Zeit träger zu werden, tadelte[1]). Im Jahre 1665 dagegen, als ihm Moray ein kleines Florentiner Thermometer zugesandt hatte, hatte er noch seine Befriedigung über die Brauchbarkeit dieses Instrumentes ausgesprochen. Aber er hatte auch in ähnlich weitblickender Weise, die ihn als Längeneinheit das Sekundenpendel vorschlagen ließ, darauf hingewiesen, daß die festen Punkte dieses Instrumentes in unzweideutiger und überall leicht herzustellender Weise bestimmt werden müßten. „Es wäre gut," heißt es in seinem Dankschreiben an Moray vom 2. Januar 1665[2]), „auf die Einführung eines allgemeinen und bestimmten Maßes der Kälte und Wärme bedacht zu sein, indem man zuerst dafür sorgte, daß der Rauminhalt der Kugel in einem gewissen Verhältnis zu dem der Röhre stehe und dann als Ausgangspunkt den Grad der Kälte nähme, bei welchem das Wasser beginnt zu frieren, oder wohl den Grad der Wärme des siedenden Wassers, damit man, ohne Thermometer zu versenden, sich die Wärme und Kältegrade, welche man bei den Versuchen gefunden hat, mitteilen und der Nachwelt aufzeichnen könne." Es ist das erstemal, daß der Siedepunkt des Wassers als fester Punkt der Thermometerskala empfohlen worden ist.

Während wir uns mit der Fortbildung der Barometer und Thermometer noch eingehend werden beschäftigen müssen, können wir die Bestrebungen Huygens und seiner Zeitgenossen, ein bequem und genau arbeitendes Niveau herzustellen, mit wenigen Worten endgültig abtun. Kamen sie doch außer Gebrauch, als die Röhrenlibelle für diese Zwecke tauglich gemacht worden war! Diese war um 1660 von Thé-

[1]) Ebenda T. VII, 1897, S. 262.

[2]) Ebenda T. V, 1893, S. 188. Il seroit bon de songer a une mesure universelle et determinee du froid et du chaud; en faisant premierement que la capacité de la boule eu une certaine proportion a celle du tuyau, et puis prenant pour commencement le degrè de froid par le quel l'eau commence à geler, ou bien le degré de chaud de l'eau bouillante, a fin que sans envoier de thermometres l'on peut se communiquer les degrez du chaud et du froid qu'on auroit trouuè dans les experiences, et les consigner a la posterité.

venot erfunden, zuerst in einem Briefe von ihm an Viviani vom 15. November 1661 beschrieben und dann 1666 in einer anonymen, in Paris erschienenen Schrift unter dem Titel Machine nouvelle pour la conduite des eaux, pour les bâtimens, pour la navigation et pour la plupart des autres arts veröffentlicht worden. Melchisedec Thévenot war 1620 in Paris geboren, hatte, zum Teil im Auftrage des französischen Staates, viele Reisen gemacht und in Werken beschrieben, die seiner Zeit viel gelesen wurden, auch Huygens erwähnt ihrer mehreremals, er wurde später Kustos der Königlichen Bibliothek und Mitglied der Akademie und war mit Huygens sehr befreundet, beschäftigte sich auch mit astronomischen Beobachtungen und physikalischen Versuchen. Der Brief an Viviani, den Govi in Florenz fand[1]), und eine ebensolcher an Huygens von Anfang 1662[2]) setzen es ganz außer Zweifel, daß Thévenot der Verfasser jener anonymen Abhandlung ist, da sie die Beschreibung der Röhrenlibelle genau so enthalten, wie diese Abhandlung, welche in die am 15. November 1666 ausgegebene Nummer des Journal des Sçavans aufgenommen worden war.

Thévenots Erfindung fand jedoch zunächst keinen Anklang. Man suchte vielmehr die Aufgabe, eine horizontale Linie abzustecken, mit Hilfe eines Flüssigkeitsspiegels oder durch die Pendelniveaus zu lösen; das sind Fernrohre, die durch ein mit ihnen in Verbindung stehendes pendelndes Gewicht wagerecht gestellt wurden. Den ersteren Weg betrat Mariotte[3]), indem er in eine genügend breite Rinne, an deren offenen Enden Wachskeile mit der Schärfe nach innen angebracht waren, Wasser goß, über dessen Spiegel aber nach zwei in entsprechender Entfernung übereinander angebrachten horizontalen schwarzen breiten Linien sah und das sie tragende Papier so stellte, daß die untere Marke mitten zwischen ihrem Spiegelbild und der oberen erschien. So unbeholfen der Apparat war, so haben ihn doch 1718 Leupold[4]) und 1748 Paricieux[5]) zu verbessern gesucht. Den zweiten Weg schlug

---

[1]) Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877, S. 573.

[2]) Huygens, Oeuvres complètes, T. IV. La Haye 1891, S. 19.

[3]) Mariotte, Traité du Nivellement. Oeuvres. Leyde 1717. Vol. II, S. 538.

[4]) Leupold, Beschreibung einer neuen Wasser- und Horizontalwage. Leipzig 1718.

[5]) Paricieux, Mémoires de l'Académie Royale 1748, S. 13.

1677 Butterfield (gest. 1724) und drei Jahre später Huygens ein. Dieser schickte die Beschreibung seines Apparates an das Journal des Sçavans, dessen Jahrgang 1680 aber erst 1682 erschien[1]). Er bestand aus einem Fernrohr, das an einer oben und unten mit Haken versehenen Messingplatte angelötet war und im Brennpunkte des Objektivs einen mittels einer Schraube in senkrechter Richtung verschiebbaren Kokonfaden besaß. An den Messingträger konnte ein Bleigewicht angehängt werden, welches in Öl tauchte. Zur Abhaltung des störenden Einflusses von Luftströmungen wurde das Ganze mit einem ein hohles Kreuz darstellenden Schutzkasten bedeckt. Um den Apparat zu justieren, visierte man einen entfernten Gegenstand ein, nachdem man das Gewicht, das etwa so schwer wie das Fernrohr und sein Träger war, abgenommen hatte. Änderte sich nach Anhängung des Gewichtes die Einstellung nicht, so lag der Schwerpunkt des Fernrohres und seines Trägers in der durch den Aufhängepunkt gezogenen Senkrechten. Etwa notwendige Korrekturen wurden durch Verschiebungen eines um das Fernrohr gelegten Ringes von Messing erreicht, und endlich wurde durch Verwechselung des Aufhängepunktes des Gewichtes mit dem des Fernrohrträgers und Anstellung der nämlichen Beobachtungen die Richtigkeit der Einstellung geprüft. Derartige Apparate ließen das Bedürfnis, nach einer anderen Methode zu nivellieren, zunächst nicht aufkommen, zumal da auch andere solcher Pendelniveaus angegeben wurden. So veröffentlichte Chapotot in demselben 8. Bande des Journals des Sçavans ein solches, das aber nach dem Urteil von Huygens viel weniger einfach als das seine war[2]). Bei dem 1699 von Picard (1620 bis 1682) angegebenen[3]) bewegte sich das Pendel vor einer Skala, und die Horizontalstellung des Rohres ermöglichte seine Aufstellung auf einem Kugelsegment, welches auf zwei zylindrischen Stützen ruhte. Ebenso gaben La Hire[4]) (1640 bis 1718) und Couplet[5]) (1642 bis 1722) solche Instrumente an, wohl das letzte hat 1710 Hartsoeker[6]) veröffentlicht.

[1]) Huygens, Journal des Sçavans, 29. Januar 1680. Bd. VIII, Amsterdam 1682, S. 24 und 65; Oeuvres complètes, T. VIII, 1899, S. 263. Opera varia, Vol. I. Lugduni Batavorum 1724, S. 254.

[2]) Huygens, Oeuvres complètes, T. IX. La Haye 1901, S. 96.

[3]) Mémoires de l'Académie Française Paris, 1699. IV, S. 233.

[4]) Leupold, Theatrum machinarum hydraulicarum, 1724. Tab. III, Fig. IX.

[5]) Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Paris 1699, S. 127.

[6]) Miscellanea Berolinensia. 1710, I, S. 388.

Wohl das letzte! Denn damals war die Röhrenlibelle sicher schon als das einfachere und bessere Ergebnisse liefernde Instrument erkannt. Wolf[1]) fragt mit Recht, wie es möglich war, daß dies damals und von so sachkundigen Beurteilern wie Huygens und Picard verkannt werden konnte. Es wird noch rätselhafter, wenn man bedenkt, daß Thévenot selbst sich kaum Mühe gegeben hat, diese schöne Erfindung, die Leibniz[2]) gegen 1680 bereits verwendet wissen wollte, um auf dem Meere Höhenbestimmungen zu machen, in Aufnahme zu bringen. Doch scheint die Erklärung hierfür nicht allzu fern zu liegen, wenn man den ursprünglichen Plan Thévenots genauer betrachtet. Wollte derselbe doch, wie er ausdrücklich in der in der anonymen Abhandlung und der Huygens übermittelten Beschreibung bemerkt, ein Rohr nehmen, das im Innern genau zylindrisch war. Da ein solches überempfindlich ist, so war es für den Zweck, dem es dienen sollte, schlechterdings unbrauchbar. Was Huygens darüber dachte, ist uns leider nicht aufbewahrt. Denn ein sonderbares Geschick hat es gewollt, daß der erste Brief, in dem Thévenot sein Niveau beschrieb[3]), und die Antwort Huygens darauf uns nicht erhalten geblieben sind.[4]) Seine Bemerkung über den Inhalt des Briefes, dessen Anfang sie bildet, daß die darin gegebene Darstellung unklar sei, bezieht sich offenbar nicht auf das Niveau[5]). Bei dieser Sachlage scheint die Annahme gerechtfertigt, daß wir es hier mit einer Betätigung der Handwerker zu tun haben. War doch gerade für die Röhrenlibelle die Sachlage eine solche, daß man sie als eine für das Eingreifen des Handwerks typische bezeichnen möchte[6]). Eine ausbildungsfähige Idee, welche aber in der ersten Ausführung als wenig brauchbar erschien, verbessert aber die handwerksmäßige Herstellung einer großen Zahl von Instrumentchen als lohnend erscheinen lassen mußte, hatte infolgedessen eine sich über Jahrzehnte erstreckende Lücke in der Überlieferung, und

---

[1]) Wolf, Geschichte der Astronomie, München 1877, S. 574.

[2]) Gerland, Leibnizens nachgelassene Schriften physikalischen, mechanischen und technischen Inhalts. Abhandlungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften, XXI. Heft. Leipzig 1906, S. 208.

[3]) Huygens, Oeuvres complètes, T. III, 1890, S. 407, Note 11.

[4]) Ebenda T. IV, 1891, S. 19, Note 2.

[5]) Ebenda T. IV, 1891, S. 22.

[6]) Vgl. Gerland, Über die Stetigkeit der Entwicklung der physikalischen Kenntnisse. Physikalische Zeitschrift, 9. Jahrh. 1908, S. 609.

dieser Umstand führte schließlich zu dem unvermittelten Auftreten eines so vollkommenen Apparates, daß er in seiner ihm damals gegebenen Form auch jetzt noch in Tausenden von Exemplaren in Verwendung steht. Und dazu kommt noch, daß es sich nur um die so unscheinbare Verbesserung handelte, die innere Fläche der Decke des Libellenrohres nach einer Kugel auszuschleifen, daß selbst noch in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts so berufene Beurteiler wie der Pariser Landkarten- und Globenhändler, der Ingenieur des Königs, Nicolas Bion (1653 bis 1733), in seinem 1713 zuerst erschienenen Lehrbuch der mathematischen Instrumente über die Luftblasenlibelle nichts anderes zu sagen weiß, als daß sie eine recht gerade Glasröhre von durchaus gleicher Weite und Dicke sei.[1])

Von den weiteren von Huygens konstruierten oder vorgeschlagenen Apparaten und Maschinen wird später an den gehörigen Orten die Rede sein.

d) Huygens theoretische optische Arbeiten. Grimaldi.

Des Cartes hatte geglaubt, das Wesen des Lichtes erklären zu können, indem er es in einem andauernden Drucke bestehen ließ, der das Streben zur Bewegung hervorrufen solle, er hatte die Ansicht vertreten, daß es sich momentan fortpflanze. Beide Annahmen konnten Huygens nicht befriedigen. Da dieser Druck nicht gleichzeitig von zwei entgegengesetzten Seiten einwirken könne, so müsse es danach unmöglich sein, daß zwei einander gegenüber stehende Personen ihre Augen sehen könnten. Was aber die Geschwindigkeit des Lichtes anlange, so sei auch diese Behauptung schlecht begründet, ja durch die Beobachtungen Römers unhaltbar geworden. Dies hatte Huygens bewogen, sich eingehender mit dem Wesen des Lichtes zu beschäftigen, er hatte die Ergebnisse seiner Untersuchungen 1678 in einer Sitzung der Pariser Akademie vorgetragen. Da er aber die Absicht hatte, seine Abhandlung später in die lateinische Sprache zu übertragen, so hatte er sie nur nachlässig in französischer Sprache niedergeschrieben. Die Ausführung dieses Planes hatte er aber, durch andere Arbeiten abgezogen, immer wieder aufgeschoben, bis er sie im Jahre 1690, um sie

[1]) Bion, Traité de la Construction et des principaux Usages des Instruments de Mathématique. Nouvelle Edition. A la Haye 1723, S. 186. Le Niveau d'Air est un tuïau de verre bien droit, d'égale grosseur et épaisseur par tout.

nicht verloren gehen zu lassen, so wie sie war, unter dem Titel Traité de la Lumière in Leiden erscheinen ließ[1]. Sie wurde dann in lateinischer Übersetzung in die Opera reliqua aufgenommen, 1885 in französischer Sprache von Burckhardt[2]) und 1890, von Mewes in die deutsche Sprache übersetzt, von Lommel herausgegeben[3]).

Die Beobachtungen Römers! Ole Römer war 1644 zu Aarhuus geboren, hatte dann bei dem Entdecker der Doppelbrechung des Kalkspates Erasmus Bartholinus (1625 bis 1698) in Kopenhagen, später bei Picard in Paris gearbeitet, wo er in die Akademie aufgenommen und mit dem Unterricht des Dauphins betraut wurde. 1681 ging er nach Kopenhagen zurück, wo er 1710 starb, nachdem er mehrere Jahre hindurch als Polizei- und Bürgermeister der Stadt gewirkt hatte, auch mit anderen hohen Ämtern betraut gewesen war. Mit Cassini stellte er in Paris eine Reihe Beobachtungen der Verfinsterung der Jupitermonde an, um Tafeln daraus abzuleiten, die nach Galileis Vorschlag zur Längenbestimmung auf der See benutzt werden sollten. Die Beobachtung des ersten dieser Trabanten während einer Zeit von zehn Jahren ergaben nun auffallende Ungleichartigkeiten. War die Bewegung der Erde in ihrer Bahn zum Jupiter hin gerichtet, so war ihre Dauer kürzer, als wenn sie vom Jupiter hinwegeilte. Während nun Cassini geneigt war, den Grund der Erscheinung in einer unregelmäßigen Bewegung des Mondes zu sehen, fand Römer und mit ihm Huygens den Grund in der Geschwindigkeit des Lichtes, wie bereits für die Beobachtungen des Eintrittes einer Mondfinsternis Des Cartes erörtert hatte, aber da er durchaus unzutreffende Daten zugrunde gelegt hatte, zu der Folgerung der momentanen Fortpflanzung des Lichtes gekommen war. Huygens zeigte nun, daß dies unrichtig sei, wenn auch die Lichtgeschwindigkeit alle sonst auf Erden bekannten weitaus übertreffe, also mehr als 600000 mal so groß als die des Schalles sei, die er zu 350 m ansetzte. Will man nun, wie es die wahre Philosophie tun soll, alle natürlichen Wirkungen auf mechanische Gründe zurückführen, so wird man das Licht für die Bewegung einer gewissen Materie, des Äthers, halten, denn die irdischen Lichtquellen, aber auch die im Brennpunkt eines

---

[1]) Vorrede des Tractatus de Lumine.

[2]) Zusammen mit dem Discours de la cause de la Pesanteur. Leipzig 1885.

[3]) Ostwalds, Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 20. Leipzig 1890.

Hohlspiegels gesammelten Sonnenstrahlen, schmelzen oder erhitzen die Körper, trennen also deren Teile, was auf eine Bewegung hindeutet. Diese kann aber nicht als eine Übertragung eines Stoffes nach Art der Geschosse geschehen, denn sonst könnten sich nicht die Strahlen einander durchdringen, wie die gleichzeitige Ausbreitung des Lichtes nach allen Seiten erfordert, es wäre auch die außerordentliche Geschwindigkeit unverständlich, sie läßt sich aber wohl als eine Wellenbewegung auffassen, wie es der Schall auch ist, als durch kugelförmige Wellen hervorgerufen, ähnlich den ebenen, die auf der Oberfläche des Wassers entstehen[1]).

Den Äther denkt sich Huygens als aus Atomen bestehend, die eine fast vollkommene Härte und beliebig große Elastizität besitzen. Sie bestehen möglichenfalls noch aus kleineren Teilchen, und ihre Elastizität beruht in der sehr raschen Bewegung einer sie durchdringenden äußerst feinen flüssigen Materie, so daß die Fortpflanzung des Lichtes auf die größten Entfernungen sich auf die Tatsachen des elastischen Stoßes zurückführen läßt. Daraus ergibt sich dann sofort das nach Huygens genannte Prinzip, welches zeigt, daß es einerlei ist, ob man die Welle als von einem Punkte ausgehend, oder sie als die Resultierende der aus unendlich vielen neuen Zentren ausgehenden Wellen betrachten will, welche Zentren ihren Antrieb von der Lichtquelle erhalten, woraus sich denn auch die wunderbarste Eigenschaft des Lichtes erklärt, daß die aus den verschiedensten Richtungen kommenden Lichtstrahlen durcheinander hindurchgehen können, ohne daß sie dabei irgendein Hindernis finden[2]).

Aus ihm lassen sich nun ohne Schwierigkeit die Tatsachen der Reflexion und Brechung ableiten, deren Darstellung den Inhalt des 2. und 3. Kapitels des Traité bilden. Den Durchgang des Lichtes durch die Körper kann man auf dreierlei Weise erklären, entweder so, daß die Äthermaterie überhaupt nicht in die Körper eindringt, diese vielmehr selbst das Licht fortpflanzen, oder daß der Äther die Zwischenräume in den aus kleinsten Teilchen bestehenden Körpern ausfüllt, welche Zwischenräume viel mehr Raum einnehmen, als die die Körper bildenden Teilchen, welche Annahme ja durch die Tatsache gestützt wird, daß die Materie der magnetischen Wirbel ganz ungehindert sogar durch

---

[1]) Huygens, Opera reliqua. Amstelodami 1728, S. 3.

[2]) Ebenda S. 14.

so dichte Körper wie Gold hindurchgeht, oder endlich, man kann beide Wirkungen, die Bewegung der Ätherteilchen und die der Körperteilchen, annehmen, wobei die letzteren von den ersteren in Bewegung gesetzt werden, vielleicht, weil die Körperteilchen aus anderen kleinen Teilchen zusammengesetzt sind, welche dem Antrieb der Ätherteilchen unterliegen. Diese Annahme erscheint die wahrscheinlichste, wie sich denn aus ihr mit Hilfe der weiteren Annahme, die nun als vollkommen gerechtfertigt erscheint, daß die Lichtwellen beim Eintritt in den durchsichtigen Körper einer Veränderung ihrer Geschwindigkeit unterworfen werden, alle Erscheinungen der Brechung erklären lassen. Zur Erklärung des Unterschiedes der undurchsichtigen von den durchsichtigen Körpern aber wird Huygens zu der Annahme gedrängt, daß jene, namentlich die Metalle, aus harten und weichen Teilchen bestehen, von denen die eine die Reflexion bewirken, die andere dem Licht den Durchgang verwehren, während diese aus harten Teilchen zusammengesetzt werden[1]). So gelingt es ihm auch, die Tatsachen der Brechung und Doppelbrechung im Kalkspat darzustellen[2]). Er fand, daß der eine der beiden auftretenden Strahlen, der der gewöhnlichen Brechung, der »refractio consueta oder vulgaris«, seine Entstehung verdankt, dem Snelliusschen Gesetz folge, während der andere aus der „ungewöhnlichen", der »refractio insolita«, ein sich nicht gleich bleibendes Brechungsverhältnis zeigte. Aber er beobachtete auch, daß eine senkrecht zur Achse geschliffene Platte einfache Brechung zeigt. Zur Erklärung nahm er an, daß die Kalkspatmoleküle Rotationsellipsoide, die durch Umdrehung um die kleine Achse der Ellipse entstanden seien, bildeten, was dann zur Folge habe, daß die Schwingungen des Äthers in der einen den Kristall durchsetzenden Richtung einen anderen Widerstand fänden, wie in der anderen. Es träten also kugelförmige und ellipsoidische Schwingungen im Kristall auf, die Veranlassung zu der Teilung des einfallenden Strahles gäben. Auch die atmosphärische Strahlenbrechung ergibt sich als eine Folgerung seiner Lehre, wenn man nur berücksichtigt, daß die Dichtigkeit der Luft von unten nach oben abnimmt, daß sie aber auch sonst eine Verschiedenheit je nach der Menge der in ihr enthaltenen Wasserteilchen aufweisen kann[3]).

Wenn wir hier darauf verzichten, näher auf Huygens' Lehre vom Licht einzugehen, so hat das nicht in der Schwierigkeit seinen Grund,

---

[1]) Ebenda S. 22 ff. — [2]) Ebenda S. 39 ff. — [3]) Ebenda S. 34.

daß dies ohne Beifügung von Figuren kaum möglich sein dürfte. Da man ja nur ein beliebiges modernes Lehrbuch der Physik aufzuschlagen braucht, um sie dort in genauer Nachbildung zu finden, und man dort nicht nur die Figuren, sondern auch die Lehren ganz so dargestellt findet, wie sie vor mehr als 200 Jahren Huygens der Pariser Akademie vortrug, so erübrigt sich eine Darstellung an diesem Orte. Kann es wohl ein schöneres Zeugnis für die Genialität ihres Urhebers geben und muß man nicht das Zeitalter glücklich schätzen, dem eine so reife Frucht physikalischen Scharfsinns in so leicht begreiflicher Darstellung in den Schoß fiel. Indessen fand sie damals keineswegs die Beachtung, die sie verdiente, vielmehr wurde die Annahme, daß die Lichtteilchen sich wie Geschosse bewegten, deren Unmöglichkeit Huygens nachgewiesen hatte, die in den folgenden 100 Jahren allgemein angenommene, und erst dem vorigen Jahrhundert war es vorbehalten, die Undulationstheorie des großen Niederländers ihrem wahren Werte nach zu würdigen. Daran waren freilich zwei Umstände schuld. Einmal hatte Huygens von der Erklärung der Farben abgesehen, die damals namentlich nach Des Cartes' Arbeiten darüber, besonderes Interesse erregten, und es war ihm nicht gelungen, das verschiedene Verhalten der beiden im Kalkspat auftretenden Strahlen in zwei zueinander senkrechten Richtungen zu erklären, obwohl er es durch Benutzung zweier übereinander gelegten Kristalle zuerst kennen gelehrt hatte[1]). Da er aber, von den Schallschwingungen ausgehend, die stillschweigende Voraussetzung gemacht hatte, daß auch die Lichtschwingungen längs der Richtung des Strahles erfolgten, so war es ihm unmöglich, den Grund eines verschiedenen Verhaltens in zwei zueinander senkrechten Ebenen ausfindig zu machen.

Auch war er nicht der einzige, der im 17. Jahrhundert das Licht für eine Wellenbewegung erklärt hatte. Er erwähnt selbst[2]), daß der Jesuitenpater Ignatius Pardies (1636 oder 1638 bis 1673) die Erscheinung der Spiegelung und Brechung durch die Annahme einer Wellenbewegung erklärt habe, und daß Hooke in seiner Mikrographie denselben Weg betreten habe. Da aber beiden das von ihm so glücklich gefundene Prinzip fehlte, so waren ihre Erklärungen durchaus nicht überzeugend. Hooke hatte die Annahme in der Absicht gemacht, die von dem Jesuitenpater und Bologneser Professor Fran-

[1]) Ebenda S. 67.
[2]) Ebenda S. 15.

cesco Maria Grimaldi (1618 bis 1663) entdeckten und zwei Jahre nach seinem Tode veröffentlichten Erscheinungen der Beugung des Lichtes zu erklären[1]). Er ließ durch eine kleine Öffnung Licht in ein verfinstertes Zimmer fallen und fand dann, daß der Schatten eines in den Lichtkegel gehaltenen Schirmes größer war, als es die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes ergab; er fand ihn außerdem von drei farbigen Streifen umsäumt, die seinen Grenzen parallel liefen, von denen der nach dem Schatten hin gelegene breiter, der auf der anderen Seite befindliche schmäler war als der mittlere. Der Schatten eines schmalen in den Strahlenkegel gehaltenen Körpers zeigte bei sehr lebhaftem Sonnenlicht ebensolche farbige Streifen in seinem Innern, bald in größerer, bald in geringerer Zahl. Ließ dann Grimaldi durch nebeneinander angebrachte Löcher zwei Lichtkegel so auf einen Schirm fallen, daß einer seiner Teile von beiden beleuchtet wurde, so erschien der mittlere Raum hell, aber von dunkleren Kreisbögen begrenzt[2]). Wurde das in das dunkle Zimmer geleitete Sonnenlicht von einer fein gestreiften Fläche reflektiert, so war das aufgefangene Bild farbig[3]). Diese Farben erklärt er ebenso wie die Farben von Spinnengeweben, von gewissen Vogelfedern usw. so, daß je nach der Seite, von welcher der Streifen betrachtet wird, das Licht so zurückgeht, daß es in einer bestimmten Farbe erscheint[4]). Die durch Reflexion des Lichtkegels von einer geritzten Metallplatte hervorgerufenen Farben hat 1674 auch der Lyoner Professor Des Chales (1621 bis 1678) wohl unabhängig von Grimaldi beobachtet[5]).

Sieht man von einer gelegentlichen Beobachtung von Beugungserscheinungen durch Leonardo da Vinci ab[6]), da dieser ihr nicht weiter nachgegangen ist, so wird man Grimaldi als den ersten Beobachter der Beugung des Lichtes, dessen Diffraktion, wie er sie nennt, ansehen müssen. Aber auf eine bestimmte Ansicht vom Wesen des

---

[1]) Grimaldi, Physico mathesis de lumine, coloribus et iride. Bononiae 1665. Vgl. Wiede, Geschichte der Optik. Berlin 1838, 1. Teil, S. 321 ff. Heller, Geschichte der Physik. II. Teil. Stuttgart 1884, S. 20 ff.

[2]) Ebenda Prop. XXII.

[3]) Prop. XXIX.

[4]) Ebenda Prop. XXIX.

[5]) Des Chales, Cursus seu mundus mathematicus. Lugduni 1674, Vol. III, S. 648.

[6]) Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie, T. III, S. 234.

Lichtes haben ihn seine schönen Versuche nicht geführt. Während er aus 60 der von ihm aufgestellten Propositionen auf eine stoffliche Natur des Lichtes schließen möchte, scheinen ihm nur sechs dafür zu sprechen, daß es ein Akzidens der Körper sei. Trotzdem hält er es in der Vorrede seines Buches nur für ein »Accidens subjectabile in corporibus diaphanis«. Und auf S. 18 seiner Schrift liest man wieder[1]): „So wie sich, wenn man einen Stein ins Wasser wirft, um diesen, wie um einen Mittelpunkt, kreisförmige Erhöhungen des Wassers bilden, gerade so entstehen um den Schatten des undurchsichtigen Gegenstandes jene glänzenden (sich in weißem Lichte zeigenden) Streifen, die sich nach Verschiedenheit der Gestalt des letzteren entweder in die Länge ausbreiten oder gekrümmt erscheinen. Und so wie jene kreisförmigen Wellen nichts anderes sind als angehäuftes Wasser, um welches sich auf beiden Seiten eine Furche hinzieht, so sind auch die glänzenden Streifen nichts anderes als das Licht selbst, das durch eine heftige Zerstreuung ungleichmäßig verteilt und durch schattige Intervalle getrennt wird. So wie endlich die kreisförmigen Wasserwellen breiter werden, wenn sie sich mehr von dem Quelle ihrer Erregung entfernen; ebenso bemerken wir dasselbe an den glänzenden Streifen, je weiter sie von dem Anfange ihrer Erregung abstehen. Dieser Anfang aber ist die Diffraktion und das Anstoßen des Lichtstoffes sowohl bei dem Eintritte in die kleine Öffnung des Fensterladens, als auch besonders an den Enden des undurchsichtigen Gegenstandes, der in den Lichtkegel gebracht wird." Danach denkt sich Grimaldi das Licht als Stoff, die vielen Beugungsstreifen als dessen Anhäufung; das Bild der Wasserwelle ist aber kaum geeignet, eine so klare Vorstellung von der Wirkungsweise des Lichtes zu schaffen, wie wir sie bei Huygens finden. Es wird also kaum angehen, wie es Wilde[2]) und Heller[3]) tun, Grimaldi zuzugestehen, daß er dem Lichte eine wellenförmige Bewegung beigelegt habe. Wohl aber konnte sie Hooke zu der Annahme vom Wesen des Lichtes anregen, daß es aus einer schwingenden Bewegung bestehe, welche sich in einem den leuchtenden Körper umgebenden Mittel in immer größer werdenden Kugelflächen ausbreite[4]), ja 1672 fügte er dieser Annahme die weitere hinzu, daß die Schwingungen der Teilchen

---

[1]) Nach der Übersetzung von Wilde a. a. O. S. 326.

[2]) Wilde, ebenda S. 326.

[3]) Heller, a. a. O. Bd. II, S. 22.

[4]) Hooke, Micrographia. Londini 1665.

dieses Mittels senkrecht zur Ausbreitung des Lichtes erfolgten und glaubte dadurch die Beobachtung Grimaldis erklären zu können[1]). Durch genaueres Eingehen auf die Erscheinungen der Beugung wies er dies freilich nicht nach, und so stehen seine Arbeiten weit hinter den die Wellenlehre des Lichtes ebenso gründlich wie erfolgreich darlegenden von Huygens zurück. Über die Farbenlehre enthält freilich seine Schrift nichts. Sie fiel eben auch nicht in den Rahmen seiner Untersuchung; ob er sie aber deshalb mit Stillschweigen überging, weil er die Farbenerscheinungen mit Hilfe seiner Hypothese nicht hatte erklären können, wird man aber so ohne weiteres nicht behaupten dürfen[2]).

e) Huygens dioptrische Arbeiten. Seine astronomischen Entdeckungen.

Bei diesen theoretischen Arbeiten über Optik ließ es Huygens nicht bewenden, auch der technischen Seite dieses Zweiges der Physik hat er seine Tätigkeit zugewendet und auch auf diesem Gebiete Ergebnisse erzielt, die die von seinen Vorgängern erreichten weit hinter sich ließen. Vor allen waren es die Fernrohre, deren Vervollkommnung er mit Glück erstrebte, und auch auf diesem Gebiete war es ihm beschieden, das zu erreichen, was Galilei noch versagt geblieben war. Den einzuschlagenden Weg hatte Kepler bereits gewiesen, ihn gangbar gemacht zu haben, ist das Verdienst von Huygens gewesen. Mit seinem älteren Bruder Konstantin begab er sich daran, Linsen zu schleifen, die zur Herstellung astronomischer Fernrohre dienen konnten, aber solcher Fernrohre, die nicht nur astronomische Beobachtungen, sondern auch Messungen auszuführen gestatteten. Außer den noch vorhandenen Linsen geben uns zwei nachgelassene Schriften von Christian Kunde von den Arbeiten der Brüder, welche die Dioptrik[3]) und die Beschreibung der Art, wie sie ihre Linsen schliffen und polierten[4]), enthalten. Wenn auch Keplers Dioptrik zur Herstellung von Fernrohren genügende Anweisungen enthielt, so hatte der Astronom Kaiser Rudolfs II. das Brechungsgesetz noch nicht gekannt, und so begab sich

---

[1]) Birch, History of the Royal Society. London 1756, Vol. III, S. 12.

[2]) Heller, Geschichte der Physik, Bd. II, Stuttgart 1884, S. 258.

[3]) Huygens, Dioptrica. Opuscula posthuma. Lugduni Batavorum 1703. 2. Ed. Amstelodami 1724.

[4]) Huygens, Commentarii de formandis poliendisque vitris ad Telescopia. Ebenda.

Huygens daran, eine neue Lehre von der Lichtbrechung auszuarbeiten, der das Snelliussche Gesetz zugrunde lag. Wie sein Vorgänger behandelte er zuerst die Brechung in ebenen und kugelförmigen Flächen, um dann zur Betrachtung von Linsen und deren Zusammenstellung überzugehen. Der Natur der Sache nach konnten sich seine Ergebnisse nicht viel von denen Keplers unterscheiden, wenn es sich auch von selbst versteht, daß er in einigen Punkten über seinen älteren Zeitgenossen hinausgeht.

Einen sehr bedeutenden Fortschritt erreichten die Brüder aber in der Herstellung großer Linsen von solcher Regelmäßigkeit, daß sich mit ihnen nicht nur zuverlässigere, sondern auch Neues liefernde Beobachtungen anstellen ließen. Hierin hatte er allerdings einen glücklichen Nebenbuhler in Giuseppe Campani, der Mechaniker in Rom war und zu seiner Zeit die trefflichsten Fernrohre herstellte, mit denen sich nur die der Brüder Huygens messen konnten. Während aber Campani die Art, wie er seine Linsen schliff, geheim hielt und wir deshalb über sie nur Vermutungen aufstellen können, hat Huygens uns über die seinige ausführliche Auskunft gegeben.

Vorerst galt es, ein geeignetes Glas zu erhalten von gleichmäßigem Fluß und ohne Schlieren. Daß darauf der durch seine tüchtigen mathematischen Arbeiten bekannte Ehrenfried Walter Graf von Tschirnhaus[1]) (1651 bis 1708) und der Utrechter Professor Nikolaus Hartsoeker[2]) (1656 bis 1725) keine Rücksicht nahmen, sondern glaubten, das Glas für ihre Linsen selbst herstellen zu können, hat sie zwar Linsen von einer Größe, wie sie jetzt noch kaum erreichbar ist, anfertigen lassen, aber es waren Linsen so voller Schlieren und Fäden, daß sie nie zu Beobachtungen, sondern höchstens als Schaustücke für Sammlungen verwendet werden konnten[3]). Das für seine Linsen nötige Glas erhielt Huygens von den Glashütten in 's Herzogenbusch, die ersten Anweisungen zu seiner Bearbeitung verdankte er dem Professor der Anatomie, Chirurgie und Botanik in Löwen, Gerhard van Gutschoven (1615 bis 1668), der das Verfahren, wie es wohl die flandrischen Künstler übten, verbessert hatte[4]). Es bestand darin,

[1]) Tschirnhaus, Acta Eruditorum 1697, S. 414.

[2]) Ch. Wolf, Allerhand nützliche Versuche, 2. Bd., Halle 1722.

[3]) Cöster und Gerland, Beschreibung der Sammlung astronomischer, geodätischer und physikalischer Apparate im königl. Museum zu Kassel. 1878, S. 45.

[4]) Huygens, Oeuvres complètes, Vol. I. La Haye 1888, S. 222.

daß er eine kupferne, später gußeiserne Schüssel nach einer Kugelfläche ausdrehen ließ und dann soweit mit Schmirgel ausschliff und polierte, wie es die größte Genauigkeit erforderte. In dieser wurde dann die Linse abgeschliffen und poliert. Wie Huygens nun zum Ausschleifen der Form eine besondere drehbankartige Maschine gebaut hatte, so stellte er eine ebensolche zum Andrücken der Linse an die Form her. Für die Verfertigung kleiner Linsen, Brillengläsern u. dgl., womit sich bekanntlich Spinoza (1632 bis 1677) seinen Lebensunterhalt verdiente, genügte es, die Linse mit der Hand in die Form zu pressen, für die großen, wie sie Huygens brauchte, erwies sich diese Art des Schleifens als unzureichend. Die Hand konnte nicht gleichmäßig genug anpressen, auch bewirkte ihre Wärme Unregelmäßigkeiten, deshalb baute Huygens eine Maschine, bei der ein durch ein Gewicht oder eine Holzfeder betätigter Hebel die Linse, während sie zugleich in Drehung versetzt wurde, mit gleichmäßigem nach Bedürfnis zu regelndem Drucke in die Form preßte. Wie Campani seine Linsen geschliffen hatte, suchte Huygens vergeblich zu erfahren, da er trotz mehrfacher Anfragen bei Guiseppes Bruder Mattheo eine genügende Antwort nicht erhielt[1]). Er dachte daran, daß der römische Mechaniker in ähnlicher Weise wie Hooke verfahren habe[2]), der die Linse dadurch herstellen wollte, daß er durch Schleifen auf einer ebenen Platte die Kugelform der Linse erhielt, indem er die mit ihr fest verbundene Achse immer mehr neigte[3]). Auf ähnliche Weise hat Huygens Linsen zu erhalten versucht, indem er das Glas an die eine, die Schleifscheibe an die andere von zwei Stangen ankittete, die in Kugelgelenken drehbar waren. Ob Hooke nach der von ihm angegebenen Methode Linsen wirklich geschliffen hat, ist freilich sehr unwahrscheinlich, ganz gewiß sind die Vorschläge des Danziger Astronomen Hevel (1611 bis 1687), der Gläser von konischem Querschnitte in einer kugelförmigen Schüssel schleifen[4]) und des Erbauers der Paulskirche in London, Christopher Wren (1633 bis 1722), der hyperbolische Gläser durch Schleifen zweier Rotationshyperboloide auf einem linsenförmigen Körper erhalten wollte[5]), nie zur Ausführung gekommen.

---

[1]) Ebenda Vol. V. La Haye 1893, S. 151, 193, 557.

[2]) Ebenda S. 151.

[3]) Hooke, Micrographia. London 1665, 18. Seite des Preface.

[4]) Hevel, Philosophical Transactions, 1665/66, Nr. 6, S. 98.

[5]) Wren, Philosophical Transactions 1668, Nr. 53, S. 1059.

Dagegen haben Christian Huygens und namentlich sein Bruder Konstantin eine Anzahl größerer und kleinerer Linsen nach ihrer Methode hergestellt, die bekanntlich auch gegenwärtig allein zur Verwendung kommt. Mehrere davon sind noch vorhanden, besonders bemerkenswert von ihnen sind drei große Linsen von Konstantin, welche sich im Besitz der Royal Institution in London befinden[1]). Die merkwürdigste ist aber die von Christian verfertigte, mit welcher er den ersten Saturnsmond entdeckte. Sie war lange verloren, bis sie 1867 von Harting in Utrecht unter einer Anzahl alter Linsen wieder gefunden wurde[2]). Sie war an dem darauf eingravierten Anagramm kenntlich, dessen Sinn ist: „Saturn wird von seinem Monde in 16 Tagen und vier Stunden umlaufen", und ist laut einer auf ihr angebrachten weiteren Bezeichnung am 3. Februar 1655 vollendet worden[3]). Aber auch Campanische Gläser besaß und benutzte der große Niederländer, und mit einem solchen hat er am 8. Dezember 1675 die beste Zeichnung, welche er vom Saturn gemacht hat, erhalten[4]).

Die Herstellung solcher Linsen, die gute Bilder astronomischer Gegenstände liefern sollten, stand aber der lästige Umstand entgegen, daß sie bei genügend starker Vergrößerung störende Farbenzerstreuung zeigten. Um letztere auf ein möglichst geringes Maß zu beschränken, war Huygens gezwungen, große Brennweiten zu nehmen. Dadurch erhielten aber die Fernrohre durch die allzu große Länge eine solche Unbeholfenheit, daß ihr Einstellen recht schwierig wurde. Huygens versuchte 1662 deshalb anstatt des Rohres, indem er dessen obere Hälfte fortließ, ein halbes Rohr zu nehmen[5]), fand es aber dann zweckmäßiger, einen von Auzout entworfenen Plan[6]) anzunehmen, und das Rohr

---

[1]) Gerland, Bericht über den historischen Teil der internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London im Jahre 1876 in Hofmanns Bericht darüber, Braunschweig 1878, S. 47 ff.

[2]) Harting, Oude optische werktuigen, toegeschreven aan Zacharias Janssen etc. Album der Natuur 1867, S. 257.

[3]) Hugenii, Opera varia, Vol. I. Lugduni Batavorum 1724. Hugenii Vita S. 3.

[4]) Kaiser, Jets over de kykers van de gebroeders Christiaan und Constantyn Huygens. S. 6 und 8.

[5]) Huygens, Oeuvres complètes, T. IV. La Haye 1891, S. 227.

[6]) Ebenda S. 433. Journal des Sçavans XII, 1864. Amsterdam 1685, S. 384. Opera varia Vol. I. Lugduni Batavorum 1724, S. 261.

ganz wegzulassen. Er befestigte das Objektiv um ein Kugelgelenk und verband es durch ein Tau mit dem Okular, welches der Beobachter in der Hand hielt, indem er die Arme auf einen festen Träger legte und mittels des Taus die Stellung des Objektivs entsprechend regelte. Für kleinere Apparate behielt man das bequemere Rohr bei, und es begaben sich bald auch die Mechaniker daran, Fernrohre zu liefern. Nach Huygens Zeugnis waren es in Deutschland namentlich der Augsburger Johann Wiessel[1]), in Italien neben Campani der Römer Eustachio Divini[2]), doch erreichten des letzteren Fernrohre nicht die Güte der von Huygens gebauten[3]). Die sphärische Aberration des Okulars machten die Brüder Huygens dadurch geringer, daß sie es aus zwei plankonvexen Linsen zusammensetzten und sie so einstellten, daß der Brennpunkt des Objektivs in den Raum zwischen beide fiel, eine Einrichtung, die auch heute noch den Namen des Huygensschen Okulars trägt[4]), welche Einrichtung gleichzeitig dazu diente, das Gesichtsfeld zu vergrößern. Endlich brachten sie auch ein Mikrometer an, ein sich verjüngendes Metallplättchen, welches an der Stelle des Brennpunktes in das durchbohrte Fernrohr geschoben werden konnte, bis es gerade den Durchmesser des Bildes des beobachteten Gegenstandes, z. B. das eines Planeten bedeckte[5]). Wenn nun auch diese Einrichtung völlig originell war, so haben die Brüder doch nicht als die ersten derartige Messungen angestellt. Denn Christians sie enthaltende Schrift ist 1659 gedruckt, während bereits 1640 der Engländer William Gascoigne (1621 bis 1644) die Durchmesser der Bilder der Planeten Mars und Jupiter maß, indem er zwei zugespitzte scharfe Bleche, die er nachts auch beleuchtete, mittels einer Schraube mit geteiltem Kopf sich gegeneinander bewegen ließ. Da aber seine briefliche Mitteilung darüber erst in den Philosophical Transactions von 1667 von Hooke veröffentlicht wurde[6]), so ist das Huygenssche Mikro-

---

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, T. I. La Haye 1888, S. 215, 308.

[2]) Pristley, Geschichte des gegenwärtigen Zustandes der Optik. Deutsch von Klügel. 1. Teil, Leipzig 1775, S. 159.

[3]) Delambre, Histoire de l'Astronomie, T. V, S. 568. Vgl. Wolf, Geschichte der Astronomie. München 1877, S. 405.

[4]) Huygens, Dioptrica. Opuscula posthuma, T. I. Amstelodami 1728, S. 140.

[5]) Huygens, Systema saturnium. Opera varia, T. II. Lugduni Batavorum 1724, S. 594.

[6]) Hooke, Description of Gascoignes Mikrometer. Philosophical Transactions 1667.

meter doch das erste, das öffentlich bekannt geworden ist. Hooke ersetzte dann die Metallspitze durch zwei Fäden und gab so das erste Fadenmikrometer an. Derartige Fadenmikrometer wendeten auch Auzout und Picard an, bei denen aber nur der eine Parallelfaden beweglich war. Ihre Fernrohre hatten sie zu genaueren Messungen brauchbar gemacht, indem sie in ihre Achse ein Kreuz aus Seidenfäden oder Metalldrähten gelegt hatten. Auch Haare oder Glasfäden wurden empfohlen. Hevel aber wollte von der neuen Beobachtungsmethode nichts wissen, er blieb bei seinen Absehen, mit deren Hilfe er seine schönen Beobachtungsergebnisse erhalten hatte. Darüber kam es zu einem Streit zwischen ihm und Hooke, der dadurch entschieden wurde, daß Halley, von dem wir bald mehr hören werden, mit den ihm von Hooke mitgegebenen Instrumenten nach Danzig zu Hevel reiste und dort angelangt, mit diesen die nämlichen Beobachtungen anstellte, wie Hevel mit den seinigen. Die mit und ohne Fernrohr erhaltenen Sternpositionen stimmten bis auf wenige Sekunden überein, und dies Ergebnis bewies einmal, mit welcher Schärfe Hevel beobachtet hatte, sodann aber, daß die Fernrohre Hookes verbesserungsfähig waren[1]).

Daß Huygens Fernrohre bessere Resultate ergeben haben würden, beweisen dagegen die Entdeckungen, die er am Himmel machte und in seinen beiden Schriften, dem Systema saturnium und dem Kosmotheoros niederlegte. Die erste Schrift galt dem Planeten, den Galilei wie von zwei kleinen Nebensternen gestützt, gesehen hatte. Die Erklärung dieser wunderlichen Beobachtung lieferte Huygens durch die Entdeckung des Saturnringes, der er am 25. März 1655 die des sechsten Saturnmondes zufügte, und dessen Umlaufszeit auf 16 Tage feststellte[2]). Aber auch für die Beobachtung der anderen Planeten sollten sich Huygens' Linsen bewähren. Er fand 1656 die hellen und dunklen Zonen des Jupiter[3]) und die beiden weißen Flecke an den Polen des Mars[4]), ja unter seinen hinterlassenen Papieren fand Kaiser[5]) eine, allerdings noch rohe Zeichnung der Oberfläche des

---

[1]) Brewster, Edinburgh Encyclopaedia, Bd. XI, S. 48. Vgl. Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 569.

[2]) Huygens, Opera varia, T. II. Lugduni Batavorum 1724, S. 541 und 548.

[3]) Ebenda S. 539.

[4]) Ebenda S. 540.

[5]) Kaiser, Iets over de Waarnemingen von Chr. Huygens. Verslagen en Mededeelingen der Koninklyge Akademie van Wetenschappen, 1856, III.

letztgenannten Planeten, die den durch die Beobachter unserer Zeit festgestellten dunkleren Teil seiner Oberfläche bereits wohl erkennbar wiedergibt. Die Abplattung des Mars fand er bereits 1656[1]), ebenso, daß die Planeten sich um ihre Achse drehen. Daß der Mars zu einer Umdrehung 24 Stunden brauche, hatte er bereits 1659 beobachtet[2]). Überraschend war es ihm, die Gegend um den Schwertgriff des Orion viel heller als seine Umgebung zu finden, aber er glaubte nicht, einen helleren Fleck auf dunklerem Grunde zu sehen, sondern der Himmel „schien gleichsam durch eine Öffnung unterbrochen zu sein, durch welche auf eine hellere Stelle geblickt werden könnte[3])". Die Flecken des Mondes aber hielt er deshalb nicht für Meere, da er die Schatten der umgebenden Berge in sie hatte fallen sehen[4]). Die Entfernung der Fixsterne suchte er auf photometrischem Wege zu bestimmen[5]), indem er den Durchmesser der Sonne soweit verminderte, daß sie nicht heller als Sirius oder ein anderer der helleren Fixsterne erschien. Dazu nahm er ein beiderseits offenes Rohr von 12 Zoll Länge. Die der Sonne zugekehrte Öffnung hatte einen Durchmesser von $^1/_{12}$ Linie, in der anderen befand sich ein durchbohrtes Messingblättchen mit einem Glaskügelchen gleichen Durchmessers. Blickte er nun durch dieses nach der Sonne, während ein den Kopf bedeckendes Tuch das Tageslicht abhielt, so erschien das durch das Rohr in das Auge gelangende Licht so hell, wie Sirius. Seiner Rechnung nach aber war dieses Licht nur vom 27664sten Teil der Sonnenoberfläche ausgegangen, woraus Huygens den Schluß zu ziehen sich für berechtigt hielt, daß, wenn der Sirius die nämliche Größe wie die Sonne habe, er von uns 27 664mal so weit entfernt sein müsse, als diese, eine Zahl, die freilich viel zu klein ist[6]).

Auch in anderer Weise betätigte Huygens sein Interesse für die Astronomie. Sowie, meint er, nach dem Zeugnis Ciceros Archimedes und Poseidonios eine Sphäre zur Erläuterung

---

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, T. I. La Haye 1888, S. 473.

[2]) Ebenda T. VI, 1895, S. 47.

[3]) Huygens, Systema Saturnium. Opera varia T. II, S. 541: velut hiatu quodam interruptum videbatur, per quem in plagam magis lucidem esset prospectus.

[4]) Huygens, Cosmotheoros. Opera varia, T. II, S. 706.

[5]) Ebenda S. 717.

[6]) Huygens, Cosmotheoros. Opera varia, T. III. Lugduni Batavorum 1724, S. 717.

des Laufes der Planeten gebaut hatten, diese aber keine Nachahmung der wahren Bewegung der Gestirne sein konnte, so unternahm er 1682 mit Zugrundelegung des kopernikanischen Systems die Herstellung eines Automaten[1]), welcher den Lauf der Gestirne, ohne Rechnungen anzustellen, verfolgen ließ und so die Ephemeriden ersetzen konnte. Derselbe enthielt eine Anzahl Zahnkränze, die durch Getriebe mit Hilfe einer Kurbel in Drehung versetzt wurden. Auf einem achteckigen Zifferblatt befindliche Kugeln, die durch die Zahnkränze mit Hilfe von Stäbchen, welche durch entsprechende Schlitze hindurchreichten, bewegt wurden, gaben die Stellung der Planeten an. Der Apparat, der in vorzüglicher Weise hergestellt wurde, ist noch in Leiden vorhanden und spricht ebenso sehr für das mechanische Geschick ihres Erfinders, wie den hohentwickelten Stand der holländischen Technik. Wir sind geneigt, einen solchen Apparat eher für eine Spielerei anzusehen, bedenkt man aber, ein wie wichtiges Hilfsmittel noch für Landgraf Wilhelm den Weisen der Himmelsglobus war, wie Jost Burgi mehrere durch Uhrwerke getriebene für seinen Gebieter anfertigte[2]), so wird es begreiflich, daß Huygens sich zum Verfolgen des Planetenlaufes eines ähnlichen Apparates bediente, daß Leibniz die Skizzen für eine »Machina coelestis« entwarf[3]), die freilich niemals ausgeführt worden ist.

Sehr eingehend hat sich auch Huygens mit den Höfen und Halos um Sonne und Mond beschäftigt[4]), und es mögen seine Arbeiten darüber hier kurz erwähnt werden, obwohl sie genau genommen nicht astronomischen Inhaltes sind. Nur kurz! Denn seine Annahmen haben sich nicht bewährt und demgemäß nicht halten können. Angeregt durch eine Beobachtung, welche er am 30. März 1652 in Paris machte, suchte er in Des Cartes' Schriften eine Erklärung der schönen Erscheinung, und da er dort eine solche, die ihn befriedigte, nicht fand, unternahm

[1]) Huygens, Descriptio Automati Planetarii. Opuscula posthuma, T. II. Amstelodami 1728.

[2]) Coester und Gerland, Beschreibung der Sammlung astronomischer, geodätischer und physikalischer Apparate im Königl. Museum zu Kassel. Kassel 1878, S. 8, Taf. I, Fig. 1.

[3]) Gerland, Leibnizens nachgelassene Schriften physikalischen, mechanischen und technischen Inhaltes, Abhandlungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften. XXI. Heft, Leipzig 1906, S. 134.

[4]) Huygens, Dissertatio de Coronis et Parheliis. Opuscula posthuma, T. II. Amstelodami 1728, S. 1.

er es, selbst eine solche zu geben, die er dann 1667 der Pariser Akademie und später der Royal Society vorlegte. Mit Interesse verfolgte er die Beobachtungen anderer und in den an ihn gerichteten Briefen finden sich mehrere solche mitgeteilt. Die Höfe erklärt er durch Brechung der Sonnenstrahlen in den durchsichtigen Hüllen der einen undurchsichtigen weißen Kern besitzenden Hagelkörner, die Nebensonnen läßt er durch Brechung in Eiszylindern, die in der Luft schweben sollten, die weißen Kreise durch Reflexion an deren Oberflächen entstehen.

f) Huygens Anschauungen von der Materie und Erklärung der Schwerkraft. Borelli.

Boyle war zur Vorstellung der gegenseitig aufeinander wirkenden Atome gelangt, indem er hauptsächlich dem chemischen Verhalten der Körper Rechnung trug, von physikalischer Seite gelangte Borelli zur Annahme von Korpuskulen, indem er von den Arbeiten Gassendis ausging, aber auch Anschauungen zu Hilfe nahm, die mit den Kartesianischen mancherlei Ähnlichkeiten aufweisen. Wir haben ihn als eines der tüchtigsten Mitglieder der Accademia del Cimento kennen gelernt, diejenigen seiner Arbeiten, auf deren Kenntnisnahme es uns jetzt ankommt, gehörten aber nicht zu den Veröffentlichungen der Akademie, sondern wurden selbständig von ihm unter dem Titel: De Motionibus naturalibus, a gravitate pendentibus 1670 veröffentlicht. Wie dieser bereits andeutet, suchte er die Vorgänge der Körperwelt aus der Schwere zu erklären, die er allen Körpern zuschreibt, in Verbindung mit der eigentümlichen Form, die ihre Korpuskulen besitzen[1]). Ihre Bewegungen können somit nur durch den von den Körpern ausgeübten Druck entstehen, alle Bewegungen auf der Erde müssen also nach den Gesetzen der Hydrostatik erfolgen. Es erwächst demnach zunächst die Aufgabe, sie aus der Form der Teilchen der Flüssigkeiten, zu denen auch die Luft gehört, begreiflich zu machen. Jene denkt man sich am besten als aus einem harten Kern von bestimmter Form, den eine flaumige Hülle umgibt, diese als verzweigte Röhrchen, die aus sehr dünnen nach Schraubenlinien gewundenen Bändern bestehen und durch einen Druck somit auf einen kleineren Raum gebracht

---

[1]) Borelli, De motionibus naturalibus, a gravitate pendentibus. Lugduni Batavorum 1686. Vgl. Laßwitz, Geschichte der Atomistik, Bd. II, Hamburg und Leipzig 1890, S. 300 ff.

werden können, nach Aufhören des Druckes aber wieder zurückschnellen. Fäden, die sie in den Zylinder strecken und die in der Wärme erweicht und biegsam werden, vollenden die recht zusammengesetzte Form dieser Teilchen. Zwischen den Teilchen der Körper kann sich ein leerer Raum bilden, der freilich durch den kartesischen Äther, wenn dieser besteht, sogleich wieder ausgefüllt werden wird, aber doch, wenn auch vielleicht nur für ganz kurze Zeit, bestehen kann. Beim Schmelzen treten Feuerteilchen zwischen die Korpuskulen und trennen sie voneinander. Da nun die Körperteilchen neben ihrer Schwere auch eine sie aneinander haften lassende Kraft besitzen, so können die in einer Flüssigkeit lösbaren Körper nur langsam in ihr herabsinken und sich verteilen. Eine innere Bewegung der Teilchen soll dabei nicht stattfinden, denn eine von ihnen aufeinander ausgeübte anziehende Kraft gibt es nicht. Das Aufsteigen des Wassers in kapillaren Röhren ist möglich durch die ästige hohle Form seiner Korpuskulen. Die Ästchen stützen sich nun an die Wände und werden so zu Stützpunkten von Hebeln, um welche sich die Teilchen drehen können; sie bewegen sich also ungehinderter gegeneinander als im freien Wasser und folgen so leichter dem äußeren Wasserdruck, der sie in die Höhe treibt. Die Tropfenbildung aber geschieht so, daß die inneren Teile vermöge ihrer Schwere die äußeren wegzudrängen suchen und dadurch den Zusammenhang ihrer Hüllen verstärken. Auf dieselbe Weise erklärt sich dann auch die Oberflächenspannung, aber auch die von ihm bereits 1638 gemachte Beobachtung, daß leichte auf dem Wasser schwimmende Körper sich anziehen, wenn ihre gegenseitige Entfernung klein genug geworden ist. Zur Erklärung der seiner Ansicht nach scheinbaren Anziehung magnetischer Körper sieht er sich freilich genötigt, anzunehmen, daß sie durch eine Kraft gegeneinander ebenso bewegt werden wie der schwere Körper gegen die Erde, während die Anziehung elektrischer Körper durch Ausflüsse, die von ihnen ausgehen, zu erklären ist. Wenn nun alle Körper schwer sind, so hat ihr Streben, sich immer zur Erde zu bewegen, seinen Sitz in ihnen, nicht in dieser. Da ihnen nun aber von Gott von Anfang an eine unzerstörbare Bewegung erteilt worden ist, so beruht ihre Bewegung zur Erde nur in dem Bestreben, dem Conatus, in eine Gleichgewichtslage mit allen andern sie umgebenden Körpern, also mit der Erde, zu gelangen, und da der Antrieb dazu in jedem Augenblicke wirkt, so muß die Bewegung eine beschleunigte sein. Die dem Feuer oder Lichtteilchen, vielleicht auch denen magnetischer oder anderer Ausflüsse zukommende Bewegung

wird aber der Grund sein, daß sie gegen die Ästchen der Korpuskulen eines zusammengedrückten elastischen Körpers stoßen und diese so in ihre ursprüngliche Lage zurückführen. Die Anziehung der Sonne auf die Planeten läßt sich allerdings durch Ätherströme erklären, die den Planeten, der darin schwimmt, um die Sonne herum führen. Doch ist die Annahme vorzuziehen, daß die Sonne vermöge ihrer Natur eine anziehende Wirkung auf die Planeten ausübt. So nimmt der Gegensatz zwischen der Äthertheorie und der Annahme einer Wirkung in die Ferne, der namentlich durch Newton verschärft werden sollte, von Borelli seinen Ausgang[1]).

So glaubte Borelli das Wesen der Materie aus der Schwerkraft erklärt zu haben, das Wesen dieser Kraft aber und die Art, wie die Ätherteilchen auf die Körperteilchen wirkten, war dunkel geblieben. Hier versuchte nun Huygens Klarheit zu verschaffen. Während aber Borelli von Gassendi ausgegangen war, knüpfte er an DesCartes an. Es liegt auf der Hand, daß die Untersuchungen mit denen, welche er über das Licht angestellt hatte, im engsten Zusammenhange stehen, und so hat er sie denn auch unter dem Titel: Abhandlung über die Ursache der Schwere seinem Werke über das Licht zugefügt und mit diesem 1690 in französischer Sprache veröffentlicht[2]). Seine Ansichten hatte allerdings schon Rohault (1620 bis 1675) in seinen 1673 erschienenen Traité de physique aufgenommen. Aber er hatte die Gedanken von Huygens mit denen von DesCartes und seinen eigenen gemischt, so daß es dem ersteren daran liegen mußte, seine Ideen unter Zufügung weiterer Untersuchungsergebnisse zur Geltung zu bringen[3]). 's Gravesande fügte sie dann 1728 in lateinischer Übersetzung in Huygens' Opera reliqua ein, 1886 veröffentlichte W. Burckhardt beide in der Ursprache[4]), die Abhandlung über die Ursache der Schwere aber gab 1893 Rudolf Mewes in deutscher Übersetzung heraus[5]). Zur Beurteilung von Huygens

---

[1]) Vgl. L. Bloch, Les origines de la théorie de l'éther. Revue générale des Sciences pures et appliquées 1908. Jahrg. 19, S. 890.

[2]) Huygens, Traité de la lumière avec un discours de la Pesanteur. Leyde 1690.

[3]) Burckhardt, Huygens, Traité de la Lumière avec un discours de la cause de la Pesanteur. Lipsiae (1886) S. 94.

[4]) Leipzig ohne Datum (1886).

[5]) Abhandlung über die Ursache der Schwere von Christian Huyghens. Berlin 1893.

Ansicht über das Wesen der Materie würde auch seine Schrift über den Magneten (Traité de l'Aimant) von größter Bedeutung sein, die aber, da sie unvollendet blieb, von 's Gravesande nicht in die Werke seines großen Landsmanues aufgenommen worden ist, deren Veröffentlichung in den Oeuvres complètes jedoch bevorsteht. Nach den Andeutungen Bosschas [1]) scheint er auch in ihr Gedanken des Des Cartes weiter ausgebildet zu haben.

Will man nun aus Huygens' hinterlassenen Schriften seine Ansichten über die Konstitution der Körper entnehmen, so findet man sich einer doppelten Schwierigkeit gegenüber. Einmal hat er sie im Lauf seines Lebens, namentlich unter dem Einfluß von Newtons Prinzipien, modifiziert, und sodann gab er in ihnen Andeutungen von Ideen, deren Veröffentlichung er sich für spätere Zeiten vorbehielt, durch seinen frühen Tod aber daran verhindert wurde. So ist man auf einige Äußerungen in Briefen an Papin und Leibniz angewiesen, die wie Laßwitz [2]) wohl mit Recht annimmt, darüber Aufschluß zu geben vermögen.

Vor Des Cartes hatte man die Schwere einfach für eine Eigenschaft der Körper und ihrer Teilchen angesehen. Er war es, welcher versuchte, „die Schwere aus der Bewegung eines gewissen Stoffes zu erklären, welcher um die Erde kreist". „Es ist ein Großes," beurteilt Huygens diesen Versuch, „als der erste diesen Gedanken gehabt zu haben[3])." Aber er muß entsprechend abgeändert werden, denn „diese Bewegung im Kreise um die Erdachse könnte die Körper, welche derselben Bewegung nicht folgen, höchstens gegen eben diese Achse hintreiben, so daß wir die schweren Körper nicht senkrecht zum Horizont, sondern längs Linien, senkrecht zur Erdachse fallen sehen würden, was der Erfahrung widerspricht[4])." An diese wandte er sich also. Er

---

[1]) Bosscha, Christian Huygens. Leipzig 1895, S. 76.

[2]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik, Bd. II. Hamburg und Leipzig 1890, S. 365 ff.

[3]) Burckhardt, S. 97. Des Cartes a aussi taché . . . d'expliquer la pesanteur par le mouvement de certaine matière qui tourne autour de la Terre; et c'est beaucoup d'avoir eu le premier cette pensée. Auch Huygens, Opera reliqua. Amstelodami 1728, Vol. I, S. 98.

[4]) Burckhardt, S. 100. Ce mouvement circulaire, autour de l'axe de la Terre, ne pourroit en tout cas chasser les corps, qui ne suivent pas le mesme mouvement, que vers ce mesme axe; de sorte que nous ne verrions pas les corps pesants tomber perpendiculairement à l'horizon, mais par des lignes perpendiculaires à l'axe du monde, ce qui est encore contre l'experience.

füllte ein zylindrisches Gefäß mit glattem Boden mit Wasser, warf zerstoßenen Siegellack, der nur wenig schwerer ist als Wasser hinein, kittete einen Glasdeckel darauf und setzte es auf den drehbaren Tisch. Setzte er dann diesen in Bewegung, so begab sich der Siegellack an die Außenwand, hielt er dann den Tisch fest, so trieb ihn das weiter rotierende Wasser in Spiralen zur Mitte und würde dies in geraden Linien getan haben, wenn er gezwungen gewesen wäre, sich nur auf radialen Linien zu bewegen. Obwohl aus diesem Versuche nur folgen würde, daß sich die schwereren Teilchen im Wasser in der Richtung der Achse bewegen, so hielt ihn doch Huygens für wichtig, weil Des Cartes als Beweis für seine Annahme vorgeschlagen hatte, einen leichteren Körper wie Wasser, also z. B. Holzstückchen, in das Wasser zu werfen, die sich dann zum Mittelpunkt der Drehung begeben würden[1]). Um die Wirkung der Schwere zu erklären, muß man also einen leichten um die Erde in Rotation begriffenen Stoff annehmen, und als solchen setzt Huygens denjenigen, den wir bereits aus seiner Arbeit über das Licht kennen, nämlich den Stoff, der in sehr rascher Bewegung den Lichtäther durchdringt. Dieser Stoff kann sich aber nur, wenn auch mit viel größerer Geschwindigkeit, nach derselben Seite wie die Erde drehen, weil er sonst, wie das Wasser die Siegellackstückchen, die auf ihr befindlichen Gegenstände mit sich fortführen würde, er die ihr nicht folgenden nicht zum Mittelpunkt, sondern nur zur Achse treiben würde. Ihre Teilchen müssen sich vielmehr nach allen Richtungen mit großer Geschwindigkeit bewegen. Da sie aber aus einem bestimmten Raume nicht heraustreten können, so muß die Bewegung einer Anzahl von ihnen die Kreisform annehmen. Doch werden sie nicht in demselben Sinne rotieren[2]), wobei ihre vollkommene Elastizität, ihre große Beweglichkeit und ihre unter jedes Maß herabgehende Kleinheit verhindern werden, daß sie sich in ihrer Bewegung stören[3]). „Begegnen aber den Teilchen dieses flüssigen Stoffes, welcher in dem angenommenen Raume rotiert, viel größere Teilchen, wie die, welche sie zusammensetzen, oder aus einer Zusammenhäufung kleinerer gebildete Körper, welche der raschen Bewegung des genannten Stoffes nicht folgen, so werden sie mit Notwendigkeit gegen den Mittelpunkt der Bewegung getrieben und dort die Erdkugel bilden, wenn ihre Menge ausreicht, vorausgesetzt, daß diese noch nicht bestände. . . . Die Schwere der Körper beruht also

[1]) Ebenda S. 99. — [2]) Ebenda S. 100. — [3]) Ebenda S. 101.

wahrscheinlich darauf: Man kann von ihr behaupten, daß sie in dem Bestreben des flüssigen, den Mittelpunkt der Erde in allen Richtungen umkreisenden Stoffes besteht, sich von diesem Mittelpunkte zu entfernen und dahin die Körper zu drängen, welche dieser Bewegung nicht folgen[1])." Hierdurch läßt sich auch das von Galilei aufgestellte Gesetz erklären, daß die Beschleunigung der fallenden Körper in gleichen Zeiten wie die Geschwindigkeit wächst. „Denn da die Körper fortdauernd durch die Stöße der Stoffteilchen, welche ihren Platz einzunehmen suchen und auf sie immer wieder, wenigstens in den Fällen, die innerhalb unserer Erfahrung liegen, mit der nämlichen Kraft wirken, so folgt mit Notwendigkeit, daß der Zuwachs an Geschwindigkeit der Zeit proportional sei[2])."

Einen weiteren überaus feinen flüssigen Stoff nimmt Huygens zur Erklärung des Magnetismus an. Nach seiner Vorstellung ist ein Magnet ein Körper, in welchem die magnetische Flüssigkeit in einer bestimmten Richtung leichter strömt als in der entgegengesetzten, eine Flüssigkeit, die er für subtiler als den Lichtäther, aber für weniger subtil als die die Schwerkraft hervorrufende hält, und die durch ihre Bewegung den ersteren, da dieser nicht durch den Magneten gehen kann, verdrängt. Dadurch wird aber ihre Strömung auf einen kleinsten Wert beschränkt, und diese Bedingung bestimmt die Bewegung der Magneten. Wie leicht sich seine Lehre mit den gegenwärtig geltenden Anschauungen in Einklang bringen läßt, zeigt Bosscha[3]), indem er

---

[1]) Ebenda S. 102. Car si parmy la matiere fluide, qui tourne dans l'espace que nous avons supposé, il se rencontre des parties beaucoup plus grosses que celles qui la composent, ou des corps faits d'un amas de petites parties accrochées ensemble, et que ces corps ne suivent pas le mouvement rapide de la dite matiere, ils seront necessairement poussez vers le centre du mouvement, et y formeront le globe Terrestre s'il y en a assez pour cela, supposé que la Terre ne fust pas encore . . . C'est donc en cela que consiste vraisemblablement la pesanteur des corps: laquelle on peut dire, que c'est l'effort que fait la matiere fluide, qui tourne circulairement autour du centre de la Terre en tous sens, à s'éloigner de ce centre, et à pousser en sa place les corps qui ne suivent pas ce mouvement.

[2]) Ebenda S. 108: Car les corps estant poussez successivement par les parties de la matiere qui tasche de monter en leur place, et qui, comme on vient de voir, agissent continuellement sur eux avec la mesme force, du moins dans les chûtes qui tombent sous nostre experience; c'en est une suite necessaire que l'accroissement des vitesses soit proportionel à celuy des temps.

[3]) Bosscha, Christian Huygens. Leipzig 1895, S. 69, Anmerkung 15 und S. 76, Anmerkung 21.

darauf aufmerksam macht, daß nach Huygens die Größe dieser Ströme ausgedrückt wird durch die Summe der Produkte, die man erhält, wenn man jedes Volumelement mit der Menge magnetischer Flüssigkeit, die durch die Einheit des Querschnittes strömt, also mit der Stromintensität, multipliziert. Diese Summe aber wird jetzt als potentielle Energie bezeichnet, und durch die Bedingung, daß sie ein Minimum werde, die Bewegung der Magneten nach Größe und Richtung bestimmt.

Außer diesen drei flüssigen Stoffen, die man in der Folge als Fluida bezeichnete, nahm Huygens noch einen vierten zur Erklärung der Kohäsion an, über den wir freilich nur gelegentliche briefliche Äußerungen besitzen, da er die Absicht, seine Ideen zu publizieren[1]), nicht mehr ausführen konnte. Papin gegenüber, der des Descartes Ansicht vertrat, betonte er, daß es nicht angehe, die Festigkeit der Körper durch den bloßen Druck einer äußeren Materie zu erklären, da das Abscheren des oberen Stückes eines Körpers von dem festgehaltenen unteren ja durch die geringste Ursache bewirkt werden müßte, dazu müsse man noch eine Härte der Körperteilchen annehmen, die freilich eine sehr vollkommene sein würde[2]). Gegen Leibniz aber spricht er sich dahin aus, daß man ihnen auch Elastizität zuschreiben müsse, weil sonst der Verlust aller relativen Bewegung in der Materie des Universums unvermeidlich sein würde. Doch sehe er die Berührung nicht allein als Bindemittel für die Festigkeit der Körper an, sondern erkläre diese durch äußeren Druck oder einen anderen Umstand. Was er damit gemeint hat, wissen wir nicht, Laßwitz[3]) vermutet, daß er die Gestalt der Atome im Auge gehabt haben mag. Des weiteren glaubt er aus Huygens' Abhandlung über den Stoß die Idee, zu deren Veröffentlichung dieser nicht mehr gekommen ist, entnehmen zu können. Die aus der Erfahrung abgeleiteten Prinzipien der Mechanik, die Erhaltung der algebraischen Summe der Bewegungsgrößen und die Erhaltung der Energie habe Huygens als Bedingungen der Möglichkeit einer

---

[1]) Gerhardt, Leibnizens mathematische Schriften, Bd. II, S. 100 und Huygens, Oeuvres complètes, T. X. La Haye 1905, S. 383. Brief vom 12. Januar 1693.

[2]) Gerland, Leibnizens und Huygens Briefwechsel mit Papin. Berlin 1881, S. 169 und Huygens, Oeuvres complètes, T. IX. La Haye 1901, S. 482. Brief vom 2. September 1690.

[3]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik. II. Bd., Hamburg und Leibniz 1890, S. 365.

kinetischen Atomistik angesehen, wie er denn auch aus ihnen die Stoßgesetze und nicht umgekehrt abgeleitet habe. Nach alle diesem dürfte der Ausspruch von Lagrange zu Recht bestehen, daß der Inhalt seiner Arbeiten und, fügt Laßwitz hinzu, der Charakter seiner prinzipiellen Gedanken bestimmt zu sein scheinen, den größten Teil der Galileischen Entdeckungen zu vervollkommnen und zu vervollständigen[1]).

So würden wir nach Huygens Ansicht vier „flüssige Materien" von äußerster aber verschiedener Feinheit vorauszusetzen haben, welche die Körper durchdringend die Schwerkraft, den Magnetismus, das Licht und die Kohäsion vermittelten. Mochten sie auch durch Newtons Schule für fast zwei Jahrhunderte zurückgedrängt werden, die Forschung der Neuzeit hat sie immer mehr anerkannt und gezeigt, daß die Annahme der verschiedenen flüssigen Stoffe je länger je weniger abzuweisen sein wird. Indessen scheint Huygens, wie aus dem Anhang, den er nach dem Erscheinen von Newtons Prinzipien seiner Abhandlung über die Schwerkraft hinzufügte[2]), hervorgeht, den Unterschied zwischen dem Licht- und dem Schweräther aufgegeben zu haben. Unter Zugrundelegung des durch Picards Pendelmessungen zu 1 961 588 Fuß berechneten Erddurchmessers, findet er, daß die Geschwindigkeit der flüssigen Materie in der Nähe der Erdoberfläche derjenigen eines Körpers gleich sein muß, welcher die Umdrehung der Erde in 1 Stunde und 24½ Minuten machen würde, eine Geschwindigkeit, die 17mal größer ist als diejenige eines Punktes des Äquators[3]). Als er dann denselben Wert für die Sonne berechnet, findet er ihn 49mal so groß, als den in der Erdnähe gefundenen. „Dies ist eine so ungeheure Geschwindigkeit," läßt er sich dann vernehmen, „daß ich auf den Gedanken gekommen bin, ob sie nicht die Ursache des glänzenden Lichtes der Sonne sein könnte, vorausgesetzt, daß das Licht so erzeugt wird, wie ich es in dem, was ich darüber geschrieben habe, dartue; nämlich, daß die Sonnenteilchen, welche in einer sehr feinen und äußerst rasch bewegten Materie schwimmen, gegen die Ätherteilchen stoßen, denen sie begegnen. Denn wenn die heftige Bewegung einer solchen Materie mittels der Bewegung, welche sie hier

---

[1]) Ebenda S. 370.

[2]) Burckhardt, S. 113. Huygens, Opera reliqua, Vol. I. Amstelodami 1728, S. 116.

[3]) Burckhardt a. a. O. S. 124. Huygens, Opera reliqua, S. 129.

auf der Erde besitzt, die Helligkeit einer Kerzenflamme oder des brennenden Kamphers hervorruft, eine wie viel größere Helligkeit wird sie durch eine Bewegung erzeugen, die 49mal rascher und heftiger ist[1]." Hier werden also die Teilchen des Schwereäthers und des Lichtäthers zusammengeworfen. Wie sich Huygens der von Newton oder seinen Schülern angenommenen Hypothese einer Wirkung in die Ferne gegenüber stellte, werden wir später zu betrachten haben.

4. Hooke und Papin.

a) Robert Hooke und die Vibrationstheorie.

Hatte Huygens die selbständige Erfindung der Pendeluhr gegen die Ansprüche, die die italienischen Gelehrten für Galilei erhoben, verteidigen müssen, so ging es ihm nicht viel besser mit der Erfindung des konischen Pendels und der Federuhr, die die Anwendung des Horizontalpendels erlaubte. Sie beanspruchte, wie bereits erwähnt wurde, Robert Hooke für sich. Er war 1635 in Freshwater auf der Insel Wight als der Sohn eines englischen Predigers geboren und hatte sich in Oxford dem geistlichen Stande gewidmet. Dann wurde er Boyles Gehilfe, um 1667 das Sekretariat der Royal Society zu übernehmen. Er war verwachsen und von schwächlicher Konstitution, dadurch jähzornig und von mißgünstigem Charakter, so daß er anderen, die durch ihre Arbeiten gemachten Erfindungen nicht gönnte. Er stand dann nicht an, sie für sich in Anspruch zu nehmen, und da er durch sein Amt von den Arbeitsergebnissen anderer Forscher stets Kenntnis bekam, ehe diese öffentlich bekannt gemacht werden konnten, so war es ihm ein leichtes, sich eine Menge Erfindungen, die ihm gar nicht gehörten, anzueignen. Dadurch erregte er nicht selten den energischen Widerstand seiner Zeitgenossen, um so mehr als die Art seiner Selbstüberhebung deren größten Ärger hervorrief, mit dem sie nicht zurückhielten. So wurden ihm eine Reihe Erfindungen zugesprochen, deren

---

[1]) Ebenda: Voila donc une terrible rapidité; qui ma fait penser si elle ne pourroit pas bien estre la cause de la lumière eclatante du Soleil, supposé que la lumière soit produite comme j'explique dans ce que j'en ay écrit; sçavoir de ce que les particules Solaires, nageans dans une matière plus subtile et extrémement agitée, frappent contre les particules de l'Ether qui les environnent. Car si l'agitation d'une telle matière, avec le mouvement qu'elle a icy sur la Terre, peut causer la clarté de la flamme d'une chandelle, ou du camphre allumé combien plus grande fera t'elle cette clarté par un mouvement 49 fois plus prompt et plus violent?

wahre Urheber erst in neuerer Zeit erkannt worden sind. Er starb 1703 in London. Es ist nicht immer leicht, festzustellen, was ihm wirklich gehört, besonders auch, weil er bei seinem ungeheueren Fleiße eine nicht geringe Zahl von Arbeiten hinterlassen hat, in denen er die Priorität zahlreicher Erfindungen für sich in Anspruch nahm.

Unter diesen Umständen wird es notwendig sein, von den Vorwürfen, die seine Zeitgenossen ihm machten, Kenntnis zu nehmen. Dazu bietet der Huygenssche Briefwechsel Gelegenheit genug, um so mehr, als aus ihm hervorgeht, daß auch seine Mitbürger gegen ihn Partei nahmen. 1683 schilderte man ihn dem Dubliner Thomas Molyneux (1661 bis 1733) als den boshaftesten und eingebildetsten Mann von der Welt, gehaßt und verachtet von den meisten Mitgliedern der Royal Society, der alle Erfindungen, welche jemals gemacht worden seien, als die seinigen betrachte[1]), während Oldenburg 1675 der Ansicht ist, daß man sein eigentümliches Wesen mit aller Geduld ertragen müsse, um der großen Fruchtbarkeit seines erfinderischen Geistes willen und dabei die Worte aus Senecas Schrift »de tranquillitate animi« anführt, daß kein großes Ingenium ohne eine Beimischung von Torheit (dementia) sei[2]). So geriet denn Hooke mit nicht wenigen seiner Zeitgenossen in ihm nicht zur Ehre gereichenden Streitigkeiten. Über den Zusammenstoß mit Hevel haben wir bereits berichtet, der Ausgang der Untersuchung, welche diesen Streit entschied, zeigte, daß sein „impertinentes"[3]) Auftreten dem Danziger Astronomen gegenüber keineswegs gerechtfertigt war. Noch weniger ehrenvoll für ihn verliefen die Streitigkeiten mit Huygens in betreff der verbesserten Pendeluhren. Es ist nötig, auf diese etwas näher einzugehen, da man bisher geneigt war, ihm, wenn auch nur bedingt, Erfindungen zuzusprechen, welche ihm nicht gehören[4]).

Wie sich aus Huygens hinterlassenen Schriften ergibt, hatte er bereits 1659 die Anwendung des konischen Pendels zugleich mit der Eigenschaft der Zykloide als Tautochrone erfunden[5]), und bei seinem Aufenthalt in London im Jahre 1661 oder bei dem im Jahre 1663

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VIII. La Haye 1899, S. 529, Note 3.

[2]) Ebenda T. VII, 1897, S. 472.

[3]) Ebenda T. IX, 1901, S. 22.

[4]) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 563. Heller, Geschichte der Physik, Bd. 2. Stuttgart 1884, S. 183 und 302.

[5]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VII, 1897, S. 314, Note 10.

in einer Sitzung der Royal Society vorgetragen. Am 1. August 1665 erfuhr er nun durch Moray, daß Hooke behaupte, vor drei Jahren, oder wie er später Moray gegenüber äußerte, vor 6 bis 7 Jahren, eine ganz neue oder vielmehr 20 neue Erfindungen gemacht habe, um die Zeit zu messen, die besser seien wie die Pendeluhr. Das Pendel sei dabei durch einen Balancier ersetzt, an dem eine Feder angebracht sei und dies könne in der verschiedensten Weise geschehen[1]). Huygens antwortete am 18. August, daß ihm 1660 der Herzog von Roannes von derselben Sache geredet und ihn zu dem Uhrmacher geführt habe, dem er und Pascal ihren Plan unter sorgfältiger Sicherung seiner Geheimhaltung mitgeteilt hatten. Doch sei die Erfindung nicht zweckmäßig, auch wirkten Schwankungen des Schiffes und vielleicht Temperaturänderungen ungünstig auf die Feder ein[2]). Der Herzog gab dann 1665 seinen Plan auf[3]). Er sowohl, wie auch Hooke scheinen wie Hautefeuille einen in der Richtung seiner senkrechten Achse schwingenden schraubenförmig aufgewundenen Draht benutzt zu haben, wie sich denn Hooke auch in anderer Weise von Hautefeuille abhängig erweist[4]). Eine solche Einrichtung der Hookeschen Uhr vermutet denn auch Huygens[5]), Hooke selbst hielt sie sorgfältig geheim. Doch schien er sie aufgegeben zu haben, denn in der Sitzung der Royal Society vom 24. Februar 1667 kündigte er einen Versuch an, der eine Verbesserung der Uhr mit dem konischen Pendel sein sollte, mit dem, wie wir sahen, Huygens mindestens vier Jahre früher die Gesellschaft bekannt gemacht hatte. Auch damit kam Hooke nicht zustande, er scheiterte an der Ermittlung der Kurve, welches dieses Pendel regulieren muß[6]) und wandte sich deshalb einem neuen Plane zu. Er wollte nunmehr ein 14 Fuß langes Pendel nehmen, das in zwei Sekunden eine Schwingung von nur einem halben Zoll Schwingungsweite vollführte und durch eine so schwache Kraft, wie für eine Taschenuhr ausreichte, in Bewegung gehalten werden sollte, obwohl das Pendelgewicht sehr groß genommen wurde. Aber obwohl ihn die Royal Society

---

[1]) Ebenda T. V, 1893, S. 427, S. 503 und 504.

[2]) Ebenda T. V, S. 486.

[3]) Ebenda T. V, S. 549.

[4]) Ebenda T. VII, S. 518, Note 7.

[5]) Ebenda T. V, S. 501.

[6]) Ebenda T. VII, S. 337, wo in Note 13 die betreffenden Stellen aus Birchs History of the Royal Society abgedruckt sind.

auch zur Ausführung dieses Gedankens aufforderte[1]), so kam er auch dazu nicht, suchte vielmehr eine Einrichtung zu verwirklichen, bei welcher Magnete die Regulierung der Pendelschwingungen übernehmen sollten.

So kam der 31. Januar 1675 heran und mit ihm die Sitzung der Royal Society, in der Oldenburg unter Vorlegung des erwähnten Anagramms mitteilte, daß Huygens eine neue Uhr erfunden habe[3]). Als der erstere dann am 18. Februar weiter berichten konnte, daß die Uhr eine Taschenuhr sei, aber fast so gut wie eine Pendeluhr gehe, und nun den ebenfalls bereits mitgeteilten Wortlaut, der dem Anagramm zugrunde lag, und den Huygens nunmehr übersendet hatte, vorlas, erklärte Hooke, daß er bereits vor mehreren Jahren eine solche Uhr angegeben habe[4]). Und nun nahm er seine früheren Pläne wieder auf[5]); die mit vieler Schwierigkeit vollendete Uhr fand dann Lord Brounker zwar gangbar, aber doch hinter der zurückstehend, die ihm am 21. Juni Huygens geschickt hatte[6]). Das Werk seiner Uhr hielt Hooke freilich immer noch geheim, beschuldigte aber Huygens und Leibniz nun des Plagiats. „Unterdessen[7]) hat Hr. Huygens Gebrauch gemacht von meiner Entdeckung und Hr. Leibniz später ebenso, aber beider Leistungen sind unvollkommen," schreibt er in dem Postskript seiner Beschreibung der Helioskope[8]). Nun aber trat Huygens' Vater für seinen „Archimedes" in einem an Oldenburg gerichteten Schreiben ein, während Huygens selbst sich an den Präsidenten der Royal Society, an Lord Brounker wandte[9]) und diesem gegenüber, indem er seine Priorität und Ehrenhaftigkeit energisch wahrte, den Tatbestand der Entdeckung ausführlich vorlegte. Er hatte die Genugtuung, daß der Lord ihm und dem ebenfalls von

---

[1]) Ebenda T. VI, 1895, S. 433.

[2]) Ebenda T. VI, S. 480.

[3]) Birch, The History of the Royal Society of London, Vol. III. London 1757, S. 179.

[4]) Ebenda S. 190.

[5]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VII. La Haye 1897, S. 471.

[6]) Ebenda T. VII, S. 477 und 481.

[7]) Indeed Mr. Hugens hath made use of that part I discovered, and somewhat Mr. Leibnitz hath hit upon, but both of them are imperfect.

[8]) A Description of Helioscopes and some other Instruments made by Robert Hooke. London 1676. Das Postscript ist abgedruckt in Huygens Oeuvres complètes, T. VII. La Haye 1897, S. 517, die betreffende Stelle S. 519.

[9]) Ebenda T. VII, S. 431 und 529.

Hooke angegriffenen Oldenburg alle Gerechtigkeit widerfahren ließ[1]). So ist Hookes Einrichtung der Federuhr unbekannt geblieben, ebenso wie die von ihm zur Erklärung der Planetenbewegung und der Anziehungskraft der Sonne auf sie, worüber später berichtet werden soll, geplante des konischen Pendels, die er am 14. Februar 1667 angekündigt hatte, und über welches am 28. desselben Monates Brouncker sich in nicht recht verständlicher Weise äußerte, daß die Kugel gehalten sei, nach einer Parabel sich auf und ab zu bewegen. So mochte Huygens wohl recht haben, wenn er von Hooke sagt: „Denn ich glaube nicht, daß die Eigenschaft des Paraboloids, dessen ich mich zu diesem Zwecke bediene, ihm bereits bekannt war[2])." Seine Gleichung $axx = y^3$ hat er in einer Skizze des konischen Pendels neben die es darstellende Zeichnung geschrieben. Davon aber, daß Hookes geometrische Kenntnisse dafür nicht ausreichten, war Huygens überzeugt, als er am 19. Februar 1665 an seinen Vater schrieb, daß jener nichts von Geometrie verstände und sich durch seine Eitelkeit lächerlich mache[3]).

Hookes tüchtigste Arbeiten sind die, welche die Schwingungen der Atome zum Gegenstand haben, aber auch über den Wert dieser sind die Meinungen der Forscher geteilt. Er veröffentlichte sie früher, als Huygens seine Abhandlung über das Licht, 1667 in seiner Mikrographie[4]) und später in seinen 1678 gedruckten Vorlesungen über die Elastizität[5]). Wenn er in der letzteren Schrift angibt, er habe seine Lehre schon 1660 besessen, so läßt sich der Gegenbeweis natürlich nicht führen, bei Hookes genügend beleuchteten Gepflogenheiten hinsichtlich der Würdigung seiner Arbeiten wird man sich freilich eines gewissen Zweifels an der Richtigkeit seiner Behauptung nicht erwehren können. Wie dem nun auch sei, so wird Hooke das Verdienst zukommen, als erster zur Erklärung der Konstitution der Körper einen ihre Poren

---

[1]) Ebenda S. 533.

[2]) Ebenda S. 417.

[3]) Ebenda T. V, S. 240. Wohl damals schrieb Huygens in sein Tagebuch: Hookii ineptae suspiciones, injuriae, alias satis ingeniosi . . . Ipsis Anglis molestus Hookius. Van Swinden, Verhandelingen der 1. Klasse van het koninklyk Nederlandsche Instituut van Wetenschappen. Amsterdam 1817, S. 165.

[4]) Hooke, Micrographia or some physiological description of minute bodies. London 1667, S. 11 ff. und 57 f.

[5]) Hooke, Lectures de Potentia restitutiva or of Spring explaining the Power of Springing Bodies. London 1678, S. 5.

ausfüllenden Äther angenommen zu haben, der die Körperatome in schwingende Bewegung setze. In dem von ihnen eingenommenen Raum kann ein anderer Körper ebensowenig eindringen, wie in einen Raum, in dem eine Eisenplatte senkrecht zu ihrer Oberfläche mit sehr großer Geschwindigkeit sich hin und her bewegt. Von diesem mit Materie erfüllten Raume ist somit auch der Äther ausgeschlossen, wohl aber füllt er die von ihnen frei gelassenen Zwischenräume aus. Die Bewegung der Atome aber bewirkt der Äther, indem er sie von einem Atom auf ein ihm kongruentes überträgt. Da nämlich ein bestimmtes Atom nur für gewisse Bewegungen empfänglich ist, so kann es nur von solchen, die diese ausführen, erregt werden, wie eine Saite eine andere in Mitschwingung versetzt, wenn beide auf den nämlichen Ton gestimmt sind. Solche Atome aber sind eben kongruente. Indem aber die Atome zu zusammengesetzten Körperchen zusammentreten, ändert sich ihre Natur, und sie werden anderen Körpern kongruent. In die von den Schwingungen frei bleibenden Räume, die als Poren die Körper durchsetzen, kann nun ein flüssiges sehr feines Fluidum eindringen, welches alle an der Erde befindlichen Körper umgibt, an den Schwingungen der Körperteilchen aber nicht teilnimmt. Dadurch werden sie flüssig und wieder fest, wenn sie dieses Fluidum wieder ausstoßen. Die Luftteilchen sind so klein, daß sie kaum die Größe der Teilchen dieses Fluidums übertreffen. Dafür sind die Schwingungen, die sie ausführen, von um so größerer Weite, 8000 mal so groß wie die der Stahl-, 1000 mal so groß wie die der Wasserteilchen[1]). Wird nun eine abgeschlossene Menge Luft auf einen kleineren Raum ohne Wärmeänderung zusammengepreßt, so nehmen in dem Verhältnis, in dem der Raum kleiner wird, die Anzahl der Schwingungen und demnach ihrer Zusammenstöße zu und umgekehrt bei einer Vergrößerung des Raumes, und so gelingt es Hooke, den Grund des Boyleschen Gesetzes aufzudecken. Auch läßt sich in ähnlicher Weise die Elastizität der Körper erklären. Stoff und Bewegung sind die einzigen Realitäten, sie sind unveränderlich[2]), aber sie sind nicht als Eigenschaften der Körper aufzufassen, welche sich gegenseitig ersetzen können, da sie vielleicht identisch sind, wie John Toland 1669 bis 1722 wirklich annahm[3]). Mit Laßwitz dürfen wir auf „die große Verwandtschaft der Vibrationstheorie mit modernen

[1]) Ebenda S. 16.

[2]) Hooke, Posthumous works. London 1705, S. 173.

[3]) Toland, Letters to Sevena. London 1704, S. 159.

Vorstellungen" hinweisen[1]), wenn auch ihre auf mechanische Gesetze zurückgeführte Begründung und Klärung einer viel späteren Zeit erst möglich wurde[2]). Daß diese Ähnlichkeit in der Tat nur eine äußerliche ist, zeigt die Betrachtung von Hookes Ansicht über das Wesen des Lichtes. Er hat der Londoner Königlichen Gesellschaft im Jahre 1672 Versuche mit Seifenblasen und über die Beugung des Lichtes vorgeführt, und es mutet eigentümlich an, wenn Pristley[3]) die Behauptung Hookes, seines Wissens habe niemand vor ihm solche Versuche gemacht[4]), in gutem Glauben hinnimmt, wo doch jene von Boyle, diese von Grimaldi längst veröffentlicht waren. Aber auch das Zugeständnis, das ihm Poggendorff[5]) macht, die Annahme rechtwinkliger Lichtschwingungen habe er als erster gemacht, wird sich schwerlich halten lassen. Schon in seiner Mikrographie hat er sich über das Wesen des Lichtes ausgesprochen, in einer Streitschrift gegen Newtons Farbenlehre, die er am 15. Februar 1671/2[6]) der Königlichen Gesellschaft vorlegte und die um ihrer „ingeniösen Überlegungen" willen in deren Register aufgenommen wurde. „Die Lichtbewegung in einem gleichförmigen Mittel, in welchem sie entstanden ist," sagt er[7]), „wird durch gleichförmige Impulse oder Wellen fortgepflanzt, welche rechte Winkel mit der Fortpflanzungsrichtung bilden; fällt sie aber schief auf das brechende Mittel, so erhält sie einen anderen Antrieb oder eine andere Bewegung, welche die frühere Bewegung stört, etwa

---

1) Laßwitz, Geschichte der Atomistik, Bd. II, Hamburg und Leipzig 1890, S. 337.

2) Ebenda S. 339.

3) Pristleys Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Optik. Deutsch von Klügel. 1. Teil, Leipzig 1775, S. 122 und 133.

4) Birch, The History of the Royal Society of London, T. III. London 1757, S. 194.

5) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 588.

6) Der Leser erinnert sich, daß in England damals das Jahr mit dem 25. März begann.

7) Birch a. a. O. S. 12: The motion of light in an uniform medium, in which it is generated, is propagated by simple and uniform pulses or waves, which are at right angles with the line of direction; but falling obliquely on the refracting medium, it receives another impression or motion, which disturbs the former motion, somewhat like the vibration of a string: and that, which was before a line, now becomes a triangular superficies, in which the pulse is not propagated at right angles with its line of directions, but ascew, as I have more at large explained in my micrographia.

wie die Schwingung eines Seiles: und das, was vorher eine Linie war, erhält jetzt eine dreieckige Oberfläche, in welcher der Impuls nicht fortgepflanzt wird in rechten Winkeln mit ihrer Richtung, sondern schief." Und in seiner Mikrographie liest man: „Die Vorstellung einer Farbe wird durch die Empfindung einer schiefen oder ungleichen Erschütterung des Lichtes erregt, die nur zweyerley seyn kann, weil sie nur zwey Seiten hat. Es sind aber unendlich viel stufenmäßige Abwechselungen dabey möglich. Jede der beiden Arten fängt mit Weiß an, und endigt mit dem dunkelsten Scharlach oder Gelb, die andere mit dem dunkelsten Blau[1])." Diese nichts weniger als klare Darstellung änderte er nicht ab, nachdem ihm Newtons Farbenlehre bekannt geworden, nachdem Huygens' Lehre vom Licht erschienen war. Und wenn man bedenkt, daß er die Wellen als kreisförmig annahm, daß er die Ansicht des Des Cartes festhielt, das Licht bewege sich im stärker brechenden Mittel rascher als im weniger stark brechenden, daß er vom »sign« der Neigung und der Brechung anstatt vom »sinus« redet[2]), dann wird man kaum die Ansicht festhalten können, daß derselbe Gelehrte, der über das Wesen der Schwingungen doch vollständig klar war, mit der obigen Erklärung transversale Schwingungen gemeint haben könne. Man wird vielmehr kaum fehl gehen, wenn man hinter seiner kaum verständlichen Lehre die von Grimaldi vermutet, dessen Beugungsversuche er freilich in viel ungeschickterer Form wiederholt hat. Auch wird seine Farbenlehre geeignet sein, diese Annahme zu bestätigen.

b) Hooke und das Mikroskop.

Die Stellung des Kurators der Experimente für die Royal Society, die Hooke jahrelang bekleidet hat, brachte es mit sich, daß er sich auch durch Vorführung von Versuchen und Herstellung von Apparaten betätigen mußte. Aber auch dabei blieb er seiner Gepflogenheit getreu, die Arbeiten anderer, vielleicht mit geringer Änderung, vorzuführen und als seine eigenen auszugeben. Was er aber selbst angegeben hat, steht hinter den Arbeiten seiner Zeitgenossen sehr zurück. So zunächst seine Fallmaschine! Sie bestand[3]) aus einer hölzernen Rolle, an deren

---

[1]) Priestley a. a. O. Bd. I, S. 118. Nach der Übersetzung Klügels.

[2]) Huygens, Oeuvres complètes T. X. La Haye 1905, S. 611, Note 30, deren Verfasser die Vermutung ausspricht, Hooke habe das Gesetz des Des Cartes nur vom Hörensagen gekannt.

[3]) Ebenda Bd. V. La Haye 1893, S. 141.

Achse der Faden eines Pendels befestigt war. Auf dem das eine Lager dieser Achse tragenden Brette war das eine Ende einer Feder befestigt, deren anderes Ende sich gegen den Umfang der Rolle legte und so ihre Bewegung hemmte. Ein um einen gleichfalls auf dem Brette sitzenden Stift drehbares Stück Holz konnte mit einem dazu angebrachten Zahn die Feder von der Rolle abheben. Sein anderes Ende hatte eine Öffnung, in die eine Schnur eingeknüpft werden konnte. Sie trug das Gewicht, dessen Fall zu beobachten war. Der Beobachter hielt nun das Gewicht in der einen, den Pendelkörper in der anderen Hand und ließ beide gleichzeitig los, nachdem die Rolle, wohl durch ein Uhrwerk, in Drehung versetzt worden war, als dessen Regulator das Pendel dienen sollte. Kam nun das Fallgewicht in seiner tiefsten Lage an, so zog es den Bremshebel nach unten, die Feder schnappte ab und hielt gegen die Rolle schlagend diese fest. Eine auf ihr angebrachte Teilung ließ nun die Zeit, die der durch die Länge der Schnur gegebenen Fallhöhe entsprach, ablesen. Wenn auch die Maschine weit hinter der von Huygens entworfenen zurücksteht, so dürfte der Plan, eine Fallmaschine zu bauen, von Hooke herrühren, da Huygens durch ihn zu seiner Konstruktion angeregt wurde.

Die Apparate, mit deren Hilfe er das Boylesche Gesetz bestätigte, unterscheiden sich dagegen in nichts von denen, die dessen Urheber verwendete, und ebensowenig Neues bieten die meteorologischen Apparate, mit welchen im Auftrage der Königlichen Gesellschaft an verschiedenen Orten Beobachtungen angestellt werden sollten. Sein Thermometer sollte durch eine einige Fuß lange Röhre mit einer Kugel von 2 Zoll Durchmesser die Genauigkeit der Ablesung erhöhen[1]), sein Radbarometer[2]) war mit geringen Abänderungen der Apparat Guerickes; bei seinem Hygrometer wurde die Bewegung des freien Endes einer Granne wilden Hafers auf einen Zeiger übertagen[3]), sein Seebarometer war ein Luftthermometer einfachster Art, dessen Temperatur durch ein daneben angebrachtes Alkoholthermometer bestimmt wurde[4]). Sein 1684 angegebener Telegraph aber, der aus großen hölzernen Buchstaben bestand, die an einem weithin sichtbaren Gerüst empor-

---

[1]) Ebenda S. 138.

[2]) Hooke, Micrographia. London 1665. Preface, S. 10.

[3]) Ebenda. Schematismus XV, Fig. 4.

[4]) Ebenda. Schematismus I, Fig. 1.

gezogen und mit einem Fernrohr beobachtet werden sollten, ist nie zur Ausführung gekommen[1]).

Groß war die Zahl seiner mikroskopischen Beobachtungen, die er in seiner Mikrographie 1663 in sehr schönen Kupfern wiedergab. Im Jahre 1745 wurden die Kupfer ohne die Einleitung nochmals herausgegeben, wozu die meisten noch wohl erhaltenen Originalkupferplatten verwendet werden konnten, nur sieben mußten durch neue nach den Originalen hergestellte Kopien ersetzt werden. Daß Hooke eine besondere Maschine entworfen hatte, um die Linsen ohne Form zu schleifen, haben wir gesehen, ob er sich seine Linsen selbst damit geschliffen hat, wissen wir nicht. Das Mikroskop war ein zusammengesetztes, an einer Säule verschiebbar und um eine Achse drehbar, wurde es gegen die Senkrechte geneigt, nicht nur zur größeren Bequemlichkeit des Beobachters, sondern auch, weil Hooke nur im auffallenden Lichte beobachtete. Den Beleuchtungsapparat bildete eine Öllampe mit freier Flamme, aber sich nach unten öffnendem Ölkasten, deren Strahlen durch eine mit Wasser gefüllte Kugel und eine Linse von sehr kurzer Brennweite auf das Objekt konzentriert wurden. Eine starke Vergrößerung konnte mit dieser Anordnung nicht erreicht werden.



Immerhin erregte Hookes schönes Werk überall das größte Interesse; auch Huygens brachte ihm solches entgegen. So fehlte es denn auch nicht an Versuchen, das Instrument, das zur Beobachtung der dargestellten Gegenstände gedient hatte, zu verbessern. So ersetzte der Mechaniker Eustachio Divini die eine bikonvexe Linse des Okulars durch zwei plankonvexe[2]) und erreichte so, daß die mit seinem Instrument betrachteten Gegenstände nicht mehr gewölbt, sondern flach erschienen. Guiseppe Campani aber gab ihm eine bequemere Form; er versah das zylindrische Rohr außen mit einem feinen Gewinde, dessen Mutter ein von drei Stützen getragener Ring war, welche Stützen wiederum auf dem Mikroskoptisch befestigt waren. Eine geringe Drehung des Mikroskops erlaubte dann, es auf das Objekt scharf einzustellen[3]). Trotzdem kam das zusammengesetzte Mikroskop bald gänzlich außer Verwendung, es wurde von dem einfachen völlig verdrängt.

---

[1]) Poppe, Telegraphen und Eisenbahnen. Stuttgart 1834. Vgl. Karraß, Geschichte der Telegraphie. Braunschweig 1909, S. 8.

[2]) Philosophical Transactions 1668, Nr. 42, S. 842.

[3]) Campani, Acta Eruditorum 1686, S. 371.

Wenn auch der Fortschritt der Wissenschaft im Beginne des 19. Jahrhunderts an Stelle des einfachen Mikroskops wieder das zusammengesetzte einführte, so kann man nicht sagen, daß damals die Einführung des ersteren die Forschung gehemmt hätte. Machte doch mit ihm Anton van Leeuwenhoek Entdeckungen, die diejenigen Hookes trotz der viel schöneren Darstellung weit hinter sich ließen. Denn während dieser wenig eigentlich Neues zum Vorschein brachte, beobachtete jener zuerst die Blutkörperchen und den Blutumlauf im lebendigen Tierkörper, entdeckte die Spermatozoen, denen er freilich eine recht kindliche Deutung gab, die Querstreifung der willkürlichen Muskeln, sowie die Infusionstierchen, um aus der Fülle seiner Beobachtungen nur die wichtigsten herauszugreifen. Und das alles mit einer kleinen aus einem kugelförmigen Glaströpfchen gebildeten Linse, die er selbst in ein Kupfer- oder Silberblech faßte und mit ebenso einfachen wie bequemen Vorrichtungen zur scharfen Einstellung des Objektes versah. 1632 in Delft geboren, war Leeuwenhoek kurze Zeit bis 1654 Buchhalter in einer Tuchhandlung in Amsterdam, kehrte aber dann in seine Vaterstadt zurück, wo er bis zu seinem 1723 erfolgtem Tode als Privatmann nur seinen Arbeiten lebte. Er hat nicht weniger als 419 Linsen geschliffen und 247 Mikroskope angefertigt, von denen sich eine Anzahl erhalten haben. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen teilte er an die verschiedensten Gelehrten oder auch Fürstlichkeiten in holländisch geschriebenen Briefen mit und gab sie später gesammelt in 7 Bänden heraus, die von 1685 bis 1718 erschienen, und wenn er auch bei seinem Mangel an wissenschaftlicher Vorbildung seine Arbeiten ohne jeden Plan unternahm, so muß man um so mehr erstaunen, daß es ihm gelang, so wichtige Entdeckungen zu machen. Bei der sehr beträchtlichen Verzerrung, welche bei starker Vergrößerung die außerhalb der Achse der Linse gelegenen Teile des Bildes erlitten, muß man die Geduld, die ihn so richtige Beobachtungen machen ließ, immer von neuem bewundern.

Das Aufsehen, was sie überall erregten, dürfte der Grund gewesen sein, daß sein einfaches, das zusammengesetzte Mikroskop vollständig verdrängte. Man wetteiferte darin, ihm die mannigfachsten Formen zu geben, und von diesen haben sich in den älteren Sammlungen physikalischer Apparate nicht wenige erhalten. Stephen Gray (gest. 1736) ersetzte die Glaslinse durch Wassertröpfchen, Wilson und Hartsoeker gaben ihm die Form des Campanischen Apparates,

während Jan van Musschenbroek und Leutmann (1667 bis 1736) sehr niedliche, kleine Apparate mit hübsch durchdachten Einstellungsvorrichtungen und Blenden herstellten[1]). Die Anordnung Hookes änderte dagegen Gray dahin ab, daß er behufs genauer Ablesung des Barometers ein zusammengesetztes Mikroskop an einem senkrechten neben das Barometerrohr aufgestellten Maßstab verschob und so das erste Kathetometer schuf[2]).

c) Papin und die Erfindung der Dampfmaschine.

Wie wir bereits gesehen haben, war Papin Huygens bei der Herstellung seiner Luftpumpe hilfreich zur Hand gegangen, er hatte die Versuche damit ausgeführt und war durch sie zu eigenen Konstruktionen angeregt worden. Aber er war auch berufen, andere Ideen von Huygens praktisch verwendbar zu machen, und so schließt auch seine schönste Erfindung, die der Dampfmaschine, direkt an Huygens an. Er war als Sohn reformierter Eltern 1647 in Blois geboren, hatte in Angers den Grad eines Doktors der Medizin erworben, war dann wohl 1671 nach Paris gegangen und dort mit Huygens in Verbindung getreten. Nachdem er die Versuche mit dessen Luftpumpe ausgeführt und seine verbesserte Konstruktion angegeben hatte, ging er nach England und trat dort in ein ähnliches Verhältnis zu Boyle, setzte auch dort seine Versuche mit der Luftpumpe fort. Hier war es, wo er die zweistiefelige Luftpumpe zuerst ausführte. 1680 wurde er Mitglied der Royal Society und nach kurzem Aufenthalt in Italien 1684 zu ihrem zeitlichen Experimentator »temporary curator of experiments« ernannt. Da nun durch Aufhebung des Ediktes von Nantes seine Rückkehr nach Frankreich unmöglich geworden war, folgte er 1688 einem Rufe des Landgrafen Karl von Hessen zur Übernahme einer Professur in Marburg, von wo er 1695 nach Kassel übersiedelte, nachdem er sich bereits öfters vorübergehend dort aufgehalten hatte. 1707 ging er nach London zurück in der Hoffnung, dort Versuche mit der Dampfmaschine und dem Dampfschiffe ausführen zu

---

[1]) Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 274.

[2]) Gray, Philosophical Transactions 1698, Nr. 240, S. 176.

[3]) Gerland, Leibnizens und Huygens Briefwechsel mit Papin, nebst der Biographie Papins. Berlin 1881, S. 7 ff.

können, die zu Ende zu bringen ihm in Kassel nicht möglich gewesen war. Dort ist er um 1712 wie es scheint in ziemlich dürftigen Verhältnissen gestorben.

Neben zwei Windbüchsen, die er in London entwarf, die eine mit Anwendung von verdichteter, die andere mit verdünnter Luft, stellte er bei seinem ersten Londoner Aufenthalt den Apparat her, der seinen Namen am bekanntesten gemacht hat, den Digestor oder Papinschen Topf, der als Dampfkochtopf auch noch jetzt in Gebrauch ist. Es ist ein eiserner Topf, dessen Deckel durch Schrauben aufgepreßt werden kann und mit dem Sicherheitsventil versehen ist, einem Kegelventil, das durch einen einarmigen ein verschiebbares Gewicht tragenden Hebel niedergedrückt wird, also sich nur bei einem von der Lage des Gewichtes abhängigen Drucke öffnen kann[1]). Durch beide Eigenschaften unterscheidet sich der Digestor sehr wesentlich von einem ähnlichen von dem griechischen Arzt Philumenos (um 180, nach anderen um 250 n.Chr.) angegebenen, da dessen Deckel nur verschmiert werden sollte[2]), also höhere Dampfdrucke nicht vertrug. Der sich im Digestor entwickelnde Druck dagegen preßte den Dampf in alle Poren der in ihm befindlichen Gegenstände und erwies sich als besonders geeignet, Gelée herzustellen, Früchte einzukochen usw. Für das Aufbewahren von solchen fand er es zweckmäßig, die Beobachtung Galileis, daß sich Früchte in geschlossenen Gefäßen lange aufbewahren lassen[3]), namentlich, wenn das Gefäß leer gepumpt wurde[4]), zu verwenden, schlug auch später vor, zur Behandlung verschiedener Krankheiten und Anstellung von Versuchen eine luftdicht verschlossene Kammer zu bauen, in der ein höherer Luftdruck als der der Atmosphäre hergestellt werden könne[5]), wozu ihn wohl bereits ein 1664 in der Royal Society angestellter Versuch angeregt hat[6]).

Weniger bekannt als der Dampfkochtopf wurden zwei Apparate, welche Papin nach seiner Übersiedelung nach Hessen erdachte und ausführte; es war die Zentrifugalpumpe und das Taucherschiff. Neben den Kolbenpumpen waren damals eine Reihe von rotierenden Pumpen

---

[1]) Ebenda S. 18.

[2]) Von Lippmann, Chemiker-Zeitung 1909, Jahrg. 33, S. 1097.

[3]) Albèri, Opere di Galileo Galilei, Bd. XIV, S. 330.

[4]) Gerland a. a. O. S. 31.

[5]) Gerland a. a. O. S. 109.

[6]) Huygens, Oeuvres complètes. La Haye, T. V, 1893, S. 81.

vorgeschlagen worden, von denen zwei die sog. Pappenheimische Kapselkunst[1]) und der Wasserriegel des Prinzen Rupprecht von der Pfalz[2]) in neuester Zeit wieder in Verwendung gekommen sind[3]), die beide darauf beruhten, daß in einer geschlossenen Kapsel rotierende Maschinenteile abwechselnd einen luftleeren Raum oberhalb des das Wasser führenden Rohres hervorbrachten und dann das in diesen Raum getretene Wasser in ein oben in die Kapsel mündendes Steigrohr hereinpreßten. Bei dem erstgenannten Apparate hatte die Kapsel die Form eines elliptischen Zylinders, in dem zwei Zahnräder mit je vier Zähnen, von denen je einer des einen genau in eine Lücke des anderen Rades paßte, diesem Zwecke dienten, bei dem Wasserriegel war in die zylindrische Kapsel exzentrisch eine zylindrische Scheibe mit diametralem Schlitz in der Mitte angebracht, in welchem Schlitz sich eine Messingplatte von der Länge des Durchmessers der Kapsel bewegen konnte. Ähnlich, nur viel weniger einfach, war ein Apparat eingerichtet, den Reisel als rotatilis suctor et pressor Württembergicus (Württembergische rotierende Saug- und Druckpumpe) als zu lösende Aufgabe seinen Zeitgenossen 1684 vorgelegt hatte. Papin löste diese Aufgabe in viel sachgemäßerer und einfacherer Weise, und sein Apparat, den er nun den Rotatilis Suctor et pressor Hessiacus nannte, war eben die Zentrifugalpumpe. In unvollkommenerer Form veröffentlichte er sie 1689[4]). Der nämliche Apparat erregte als neue Erfindung auf der ersten Weltausstellung in London vom Jahre 1876 das größte Aufsehen. Von allen jenen rotierenden Pumpen unterschied sie sich dadurch zu ihrem Vorteil, daß das Wasser in eine zylindrische Kapsel in der Nähe der sie durchsetzenden Flügelachse eintrat, indem es in Spirallinien von dieser fortbewegt wurde, nach und nach die Geschwindigkeit von deren äußersten Teilen erhielt und nun in tangentialer Richtung austrat. Die anfängliche Konstruktion hatte aber nur zwei Flügel, auch war

---

[1]) Schwenter, Deliciae Physico-mathematicae oder Mathematische und philosophische Erquickstunden. Nürnberg 1636, S. 485.

[2]) Leupold, Theatrum Hydraulicarum. Leipzig 1724, S. 123.

[3]) So die Pappenheimische Kapselkunst mit Rädern, die nur je zwei Zähne haben (Flügelräder) in der Wettermaschine von Root (Roots blower). Preußische Zeitschrift für Bergbau, Hütten- und Salinenwesen 1876, Bd. 24, S. 167. Vgl. Köhler, Lehrbuch der Bergbaukunde, 6. Aufl., Leipzig 1903, S. 787, der Wasserriegel als Gebläse an der Thomson-Houston elektrodynamischen Maschine.

[4]) Papin, Acta Eruditorum 1689, S. 317. Auch Recueil de diverses Pièces touchant quelques nouvelles Machines. Cassel 1695, S. 2.

bei ihr der Austritt in der Tangente noch nicht genau durchgeführt. Als er aber bei seinem ersten Besuch in Kassel den Landgrafen Karl mit der Aushebung eines Kanals beschäftigt fand, wobei die damals üblichen Pumpen zur Wältigung des immer wieder zudringenden Grundwassers nicht ausreichten, verbesserte er sie in dem angegebenen Sinne, nahm auch vier Flügel anstatt der früheren zwei[1]). Es war nicht die Schuld seines Erfinders, daß der Apparat damals sich nicht in genügender Weise bewährte. Es fehlte noch an einem Motor, der ihn in genügend rasche Drehung hätte versetzen können[2]), und so bot sich Papin die weitere Aufgabe, einen solchen herzustellen. Aber ihn als Zentrifugalventilator zu benutzen, reichten die damals zur Verfügung stehenden Menschenkräfte aus, namentlich da er die Anzahl der Schaufeln auf 16 vermehrte, ihre Achse aber exzentrisch in der Kapsel anbrachte, so daß die von den Schaufeln herausgetriebene Luft noch einen großen Teil ihres Weges in dieser machen mußte, ehe sie in den in der Richtung der Tangente liegenden Kanal trat.

Pumpe und Ventilator waren zunächst für den Bergwerksbetrieb bestimmt. Reisel führte eine solche aus und war mit ihren Leistungen sehr zufrieden, auch Papin stellte eine mit demselben Erfolge in Allendorf an der Werra auf. Freilich waren die Ansprüche, die der damalige Bergbau an solche Ventilatoren stellte, noch recht geringe. Beschreibt doch Agricola[3]) einen solchen von ähnlicher Einrichtung, der aber keine Wirkung haben konnte, da die Luft an seinem Umfang in senkrechter Richtung in die einem flachen Faß gleichende Kapsel ein- und ebenso an einem diametral entgegengesetzten Punkte austreten sollte, so daß die in der Kapsel sich drehenden vier aus Brettern gebildeten Schaufeln die in ihr enthaltene Luft nur in Drehung versetzen konnten. Papins Ventilator ist in der Landwirtschaft als Kornreinigungsmaschine seit langer Zeit in Gebrauch genommen, ohne daß ihr Erfinder bekannt geworden wäre.

Die Möglichkeit eines Unterwasserbootes galt seit Drebbels ebenso berühmter wie schlecht beglaubigter Fahrt unter den Wellen der Themse als erwiesen. Auch für Papin stand sie fest, wenn er auch an die wunderbare Essenz des Wundermannes nicht glaubte. Statt

---

[1]) Papin, Philosophical Transactions 1705, Vol. 24, S. 1990.

[2]) Wie er in dem Briefe an Leibniz vom 30. Juni 1704 ausdrücklich beklagt. Gerland, Leibnizens u. Huygens Briefwechsel mit Papin, S. 315.

[3]) Agricola De re metallica. Basileae 1556, S. 161.

ihrer wollte er die Insassen des Bootes mittels des Zentrifugalventilators mit frischer Luft versorgen. Die Ruder sollten durch zwei seitliche Öffnungen herausgestreckt und ihre Stiele mit Leder gedichtet werden; das wie ein ovales Braufaß gestaltete Boot sollte ein seitliches kupfernes Rohr enthalten, groß genug, um einen Mann in liegender Stellung aufzunehmen. Hatte sich dieser an seinen Platz begeben, so sollte es von dem Schiff luftdicht abgeschlossen, seinem Insassen aber Luft durch eine Druckpumpe zugeführt werden. Dieser öffnete dann eine Klappe, durch die er den Arm herausstrecken konnte, während die daraus entweichende Luft den Eintritt des Wassers verhinderte. So sollte es möglich sein, Gegenstände vom Boden des Gewässers aufzunehmen oder aber an einem feindlichen Schiffe ein Zerstörungswerk zu verrichten. Eingelassenes Wasser sollte das Schiff sinken, Auspumpen desselben es wieder steigen machen. Die Mündungen der die Luft zuführenden und der sie abführenden Rohre sollten durch Befestigung an einem Stück Kork über Wasser gehalten werden. Papin hat zwei Versuche mit dem Taucherschiff, für das sich Leibniz im höchsten Grade interessierte, angestellt. Der erste, zu dem eine große Gesellschaft eingeladen war, mißglückte, da der Kran, der das Schiff in das Wasser lassen sollte, durch die Schuld seines Erbauers, eines Zimmermanns, brach, um so besser glückte der zweite, der im Mai 1692 ganz in der Stille angestellt wurde[1]). „Das Schiff," schreibt[2]) darüber der Kasseler Bibliothekar Haas (1641 bis 1697) an Leibniz am 13. Oktober 1693, „welches ein ovales Faß war, konnte mit den Maschinen, welche er (Papin) darin hatte, drei Männer tragen, obwohl Hr. Papin in Wirklichkeit noch außer ihm nur noch einen darin hatte. Er ist nicht lange unter Wasser geblieben, obwohl die, welche darin waren, nicht die geringste Unbequemlichkeit empfanden." Ein angezündetes Licht, das er mitgenommen hatte, brachte er brennend wieder heraus und der Versuch konnte als vollständig gelungen gelten. Bei der Prüfung seines ersten Apparates hatte er, wie er am 16. August 1691 an

[1]) Gerland, Leibnizens und Huygens Briefwechsel mit Papin. Berlin 1881, S. 191.

[2]) Ebenda S. 195: Le batteau, qui étoit un tonneau en ovale, pouvoit contenir, avec les machines qu'il y avoit de dans trois hommes, quoi qu'il n'y en ait eû effectivement que Mr. Papin et un autre avec luy. Il n'a pas esté gueres longtems sous l'eau, quoique ceux qui étoient dedans n'ayent esté aucunemt incommodés.

Huygens schrieb[1]), beobachtet, daß er beim Herauslassen der Luft sich in einem dichten Nebel befunden habe, den er sich ebenso entstanden denkt, wie der beim Beginne der Arbeit mit der Luftpumpe im Rezipienten auftretende. In seiner Antwort vom 2. November schließt sich Huygens der Erklärung an, die Guericke schon von dieser Erscheinung gab[2]), daß der Nebel aus Wasserteilchen bestehe, welche, da sie bei dem raschen Entweichen der Luftteilchen aus der Öffnung von ihnen nicht mehr getragen werden könnten, herabsänken und sich dabei untereinander vereinigten[3]).

Nachdem Papin diese Versuche mit gutem Erfolg ausgeführt hatte, wandte er sich der Aufgabe zu, für die Zentrifugalpumpe einen Antrieb herzustellen, der ihr die nötige Kraft bei genügender Geschwindigkeit erteilen könnte. Er brauchte dazu nur auf frühere Versuche zurückzugreifen, die er in Paris im Auftrage von Huygens angestellt hatte, und dessen Vorschläge zu deren Fortbildung zur Ausführung zu bringen. Unter den Aufgaben, welche der letztere mit Billigung des Ministers Colbert der neu gegründeten Pariser Akademie der Wissenschaften zur Bearbeitung empfohlen hatte, befanden sich die beiden[4]): „Die Kraft des Schießpulvers zu prüfen, von dem sich eine kleine Menge in einem Behälter von Eisen oder sehr dickem Kupfer befindet“ und die andere: „auf die nämliche Weise die Kraft des durch Feuer verdampften Wassers zu prüfen.“ Es ist nicht unmöglich, daß Huygens zu dieser Aufgabe durch den Baumeister Friedrichs V. von der Pfalz, Salomon de Caus (1576 bis etwa 1630), und Edward Somerset, Marquis von Worcester (gest. 1667) veranlaßt worden ist, denen man darauf hin den Ruhm der Erfindung der Dampfmaschine hat zueignen wollen. Aber des ersteren Apparat war nichts anderes wie ein durch eine Flamme erhitzter Heronsball[5]), ebenso wie seiner

---

[1]) Ebenda S. 178.

[2]) Guericke, Experimenta nova etc. Amstelodami 1672, S. 88.

[3]) Gerland, Leibnizens und Huygens Briefwechsel mit Papin. Berlin 1881, S. 183.

[4]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VI. La Haye 1895, S. 95: Examiner la force de la poudre à canon en l'enfermant en petite quantité dans une boiste de fer ou de cuivre fort espoisse und: Examiner de mesme facon la force de l'eau rarefiè par le feu.

[5]) De Caus, Les raisons des forces mouvantes avec diverses machines. Francfort 1615.

recht unklaren Beschreibung nach auch der des letzteren[1]). Etwas Ähnliches mag auch Johannes Mathesius[2]) in seiner 1559 gehaltenen 12. Predigt seiner Bergpostille gemeint haben, wenn er anführt, daß man „jetzt auch, doch am tag, wasser mit feuer heben solle". Beide Vorschläge von Huygens wurden von Papin ausgeführt. Denn als gelegentlich der Anlage der Versailler Wasserkünste Ludwig XIV. das Seinewasser auf die Höhe der die Anlage schmückenden Gärten gehoben zu haben wünschte, übertrug Huygens seinem Mitarbeiter die Herstellung der von ihm zur Lösung der ersten Aufgabe erdachten Maschine. Sie war eine Abänderung des bereits von Guericke angewandten Apparates[3]) zur Hebung eines Gewichtes durch den Luftdruck, welcher einen Kolben in einen mit verdünnter Luft angefüllten Raum preßte. Ein eiserner, mit einem Gipsboden versehener Zylinder[4]) konnte durch einen Kolben luftdicht verschlossen werden. Der Gipsboden hatte in der Mitte eine mit Gewinde versehene kreisrunde Öffnung, durch welche die im Zylinder enthaltene Luft entweichen konnte, wenn der Kolben in ihm herabgestoßen wurde. War das geschehen, so verschloß man die Öffnung, indem man in ihr Gewinde einen hohlen Bolzen schraubte, der eine geringe Menge Schießpulver und ein Stückchen brennende Lunte enthielt. Die entstehenden hocherhitzten Verbrennungsgase des durch die Lunte entzündeten Pulvers entwichen dann, da der Kolben zu Anfang des Versuches an seine höchste Stelle gebracht worden war, durch zwei zu beiden Seiten unterhalb dieser Stellung angebrachte Röhren, indem sie darüber gezogene Lederärmel aufbauschten. Sobald sich aber die Gase abkühlten, fielen die Ärmel wieder herab und verschlossen die Röhren, während der nunmehr auf den Kolben wirkende Luftdruck diesen mit großer Kraft herunterdrückte. Obwohl die Versuche, die in Gegenwart Colberts Papin anstellte[5]), gute Ergebnisse lieferten, so sah sich dieser doch bewogen, bei späteren Versuchen den hohlen Schraubenbolzen durch ein ebensolches Kegelventil

---

[1]) Th. Beck, Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaues. Berlin 1899, S. 265.

[2]) Matthesius, Sarepta. Nürnberg 1571 (2. Auflage, die erste erschien 1562). S. CXLVI.

[3]) Guericke, Experimenta nova etc. Amsterdam 1672, S. 109. Iconismus XIV.

[4]) Hugenii Opera varia. Lugduni Batavorum 1724, S. 280.

[5]) Papin, Nouvelles de la République des Lettres, T. X, 1688, S. 1000. Hugenii Opera varia. Lugduni Batavorum 1724, S. 280.

zu ersetzen, das am einen Ende eines zweiarmigen Hebels befestigt durch ein an dessen anderem Ende angehängtes Gewicht in die Öffnung im Boden des Zylinders hineingepreßt wurde, während ein im Kolben befindliches Ventil der Luft den Austritt gestattete. Auf Befehl des Landgrafen stellte er ein Modell dieser neuen Anordnung mit einem Zylinder aus Messing her, aber obwohl es sich als brauchbar erwies, befriedigte es ihn doch nicht, und so suchte er sich von der unbequemen und gefährlichen Verwendung des Schießpulvers, dessen Wirkung zudem ungünstig genug war, da jedesmal etwa ein Fünftel der entwickelten Luft im Zylinder zurückblieb, frei zu machen.

Das schien leicht erreichbar, wenn er das Pulver durch Wasser ersetzte. Darauf hatte Huygens schon hingewiesen, die Versuche mit dem Dampfkochtopf würden ihn auch ohne das darauf gebracht haben. „Da es die Eigenschaft des Wassers ist," sagte er darüber[1], „daß eine geringe Menge durch die Wirkung der Wärme verdampft, eine elastische Kraft, wie die Luft besitzt, nach erfolgter Abkühlung aber wiederum zu Wasser wird, so daß keine Spur der genannten elastischen Kraft übrig bleibt: so habe ich geglaubt, daß leicht Maschinen gebaut werden könnten, in denen das Wasser durch das Mittel nicht sehr starker Erhitzung und mit mäßigem Kostenaufwande ein so vollkommenes Vakuum erzeugte, wie es mittels Schießpulver auf keine Weise erreicht werden konnte." Bei der neuen von ihm angegebenen Maschine hob die Spannkraft des entstandenen Dampfes den Kolben soweit empor, daß die Feder den Hebel in die Auskerbung der Kolbenstange einschnappen ließ und so den Kolben festsetzte. Nun konnte der Zylinder vom Feuer weggenommen werden, ohne daß der Luftdruck den Kolben in den durch Kondensation des Dampfes luftleer gewordenen Raum preßte. Man konnte ihn an ein Getriebe setzen, so daß dessen Zähne in die der Stange eingriffen. Schlug man dann den Handgriff des Hebels mit der Hand zurück, so wurde der Kolben frei, und der Luftdruck drückte ihn, die Welle des Getriebes herumdrehend, herab. War er auf seinem untersten Stande

---

[1]) Papin, Nova methodus ad vires motrices validissimas levi pretio comparandas. Acta Eruditorum 1690, S. 411: Quumque ea sit aquae proprietas, ut exigua ipsius quantitas vi caloris in vapores conversa vim habeat elasticam instar aeris, superveniente autem frigore in aquam iterum ita resolvatur, ut nullum dictae vis elasticae vestigium remaneat: facile credidi, construi posse machinas, in quibus aqua mediante calore non valde intenso, levibusque sumptibus perfectum illud vacuum efficeret, quod pulveris pyrii ope nequaquam poterat obtineri.

angelangt, so wurde der Zylinder durch einen anderen, der vom Feuer kam, ersetzt, der gebrauchte wieder auf die Feuerung gebracht. Dies war die erste atmosphärische Maschine, aber so ungeschickt sie nach unseren Begriffen auch war, so hatte ihr Erfinder doch den Plan, damit Wasser zu pumpen, Geschosse zu schleudern, Schiffe zu treiben und anderes mehr, wobei er aber schon daran dachte, nach dem Vorgang des Prinzen Rupprecht die Ruder durch Ruderräder zu ersetzen.

Von diesen Aufgaben zunächst die erstgenannte in Angriff zu nehmen, nötigten ihn die Verhältnisse. Im Jahre 1698 hatte er eine Maschine am Ufer der Fulda im Auftrage des Landgrafen fast fertig aufgestellt, als ein ungewöhnlich früher Eisgang die Maschine zerstörte, ein Unglück, das für Papin das größere zur Folge hatte, daß sich das Interesse seines Herrn an der Maschine verlor und er fürchten mußte, den Plan, den er zu ihrer Verbesserung gemacht hatte, nicht ausführen zu können. Davor aber sollte ihn die Maschine bewahren, die um diese Zeit der Engländer Savery angegeben hatte. Savery war um 1650 in Shilston in Devonshire geboren, war als Ingenieur in Militärdienste getreten und starb 1715. Dem Bedürfnis nach einer dauernd und kräftig wirkenden Pumpmaschine, das sich in den Bergwerken seines Vaterlandes wohl in noch höherem Maße äußerte als in denen Deutschlands hatte er wie Papin durch Konstruktion einer Dampfmaschine abzuhelfen gesucht, die er trotz der gegenteiligen Behauptung Desaguiliers[1]), der sich Poggendorff[2]) anschließt, selbständig erfunden hatte. Er gibt uns selbst an, daß er auf seine Idee dadurch gekommen sei, daß er zufällig beobachtet habe, daß in eine leere Weinflasche, die auf dem Ofen gelegen und sich mit Dampf gefüllt hatte, das Wasser hineingestiegen sei, als er sie mit dem Hals nach unten eingetaucht habe. Die von ihm erdachte Maschine schließt sich so sehr dieser Beobachtung an, daß die Erzählung, er habe Worcesters Maschine benutzt und alle Exemplare von dessen Schrift, die er hätte erlangen können, aufgekauft und vernichtet, um den wahren Sachverhalt zu verdunkeln, mit aller Entschiedenheit in das Reich der Fabel verwiesen werden muß, und das auch schon aus dem Grunde, weil, wie wir sahen, der Marquis ja gar keine Maschine angegeben hat. Von Papins Maschine unterscheidet sich die seinige dadurch, daß sie keinen

---

[1]) Desaguiliers, A cours of experimental philosophy. London 1725. Holländische Übersetzung, Amsterdam 1751, T. III, S. 80.

[2]) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 545.

Kolben hatte, und daß sie zwei Zylinder und einen von diesen gesonderten Kessel besaß. In die Zylinder mündeten oben die beiden Arme des sich gabelnden Pumpenrohres, während aus beiden oben die sich ebenfalls wieder vereinigenden Steigrohre austraten. Die beiden zu einem Zylinder gehörigen Rohre waren mit Ventilen versehen, die sich nach oben öffneten. Hähne, die mit der Hand gesteuert werden mußten, konnten die beiden Rohrstücke abschließen, welche die Zylinder mit dem Kessel verbanden. Sollte nun das in einem Zylinder befindliche Wasser gehoben werden, so wurde der Hahn, der zum Kessel führte, geöffnet, während der andere Zylinder außer Verbindung mit dem Kessel gesetzt wurde. Der Dampfdruck trieb dann das Wasser in das Steigrohr, bis die Verbindung mit dem Kessel wieder abgestellt wurde. Der sich niederschlagende Dampf erzeugte nun einen leeren Raum, in den der Luftdruck das Wasser hereinpreßte. Ebenso wurde mit dem anderen Zylinder verfahren, und die Steuerung geschah in der Weise, daß sich der eine Zylinder mit Wasser füllte, während der Dampf es aus dem anderen herausdrückte.

Auf diese Maschine hatte ihr Erfinder 1698 ein Patent auf 14 Jahre erhalten, das 1699 auf 21 Jahre verlängert wurde. 1702 beschrieb er die Maschine in einer besondern Schrift[1]), in der er zugleich die gegen sie erhobenen Einwände zurückwies. Von Saverys Maschine schickte nun Leibniz 1704 an Papin eine Zeichnung ohne Beschreibung, die dieser sogleich dem Landgrafen vorlegte, der nun wieder Interesse dafür gewann und Papin beauftragte, nach dem Entwurf, den ihm dieser vorlegte, eine Dampfmaschine zu bauen. Wieviel weniger Verständnis er ihr freilich entgegenbrachte als sein Rat, beweist, daß er ihm die Aufgabe stellte, er solle eine Maschine bauen, die Wasser auf ein Wasserrad pumpen sollte, welches dann wieder zum Betrieb einer Getreidemühle bestimmt war[2]).

Wenn nun auch Savery die von ihm selbständig erdachte Hochdruckmaschine zuerst veröffentlichte, so hatte Papin den Plan zu einer solchen doch bereits viel früher gefaßt. Eine solche war diejenige, welche 1698 verunglückte[3]). Auch war die Maschine, die er nun baute und 1707

---

[1]) Savery, The miners friend. London 1702.

[2]) Brief Papins an Leibniz vom 23. März 1705. Gerland, Huygens und Leibnizens Briefwechse mit Papin nebst der Biographie des letzteren. Berlin 1881, S. 343.

[3]) Ebenda S. 339. Brief Papins an Leibniz vom 15. Januar 1705.

in einem besonderen der Royal Society in London gewidmeten Werke beschrieb[1]), in ihren einzelnen Teilen so vollständig ausgebildet, daß dies auch auf eine bereits jahrelange Beschäftigung damit schließen läßt. Die Maschine bestand aus einer eisernen Retorte zur Erzeugung des Dampfes, einem Zylinder mit Kolben und einem Windkessel, wie der der Feuerspritze, aus dem das Steigrohr entsprang. Das Speisewasser sollte sich aus einem Bach in einen unten mit Ventil geschlossenen Trichter ergießen, der mit dem Zylinder in Verbindung stand. Die Retorte war durch ein Sicherheitsventil verschlossen, sie besaß einen Ablaßhahn und von ihr führte ein durch einen Hahn verschließbares Dampfrohr in den Zylinder. Auch dieser war mit Ablaßhahn und Sicherheitsventil versehen, welches eine verhältnismäßig weite Öffnung verschloß. Der Kolben war aus Blech hergestellt und inwendig hohl, so daß er auf dem Wasser schwamm, das durch den Trichter in den Zylinder eintrat. In seiner Mitte trug er einen oben offenen Zylinder aus Blech von geringerem Durchmesser, so daß er die Form eines schwimmenden Hutes hatte. In seinen engeren Teil wurde ein Stück glühenden Eisens durch die Öffnung des Sicherheitsventils eingebracht. Das Verbindungsrohr zum Windkessel war mit einem sich nach oben öffnenden Ventil versehen. Wurde nun der Hahn im Dampfrohr geöffnet, so traf der in den Zylinder eintretende Dampf auf das heiße Eisen, expandierte und trieb mit kräftigem Stoße das Wasser in den Windkessel; der Stoß war zum Überwinden des Gegendruckes der Luft darin notwendig. Hatte der Dampf auf den Kolben gewirkt, so wurde ein zweiter Hahn geöffnet, aus dem er wieder austrat. Die Versuche mit der Maschine wurden in Gegenwart des Landgrafen mit gutem Erfolg angestellt, wie Papin am 19. August 1706 Leibniz mitteilte[2]). Zwar hielt das Steigrohr wegen des unzureichenden, seine einzelnen Stücke zusammenhaltenden Kittes, vor dessen Anwendung Papin die Arbeiter vergeblich gewarnt hatte, nicht dicht und Ströme von Wasser drangen aus den Fugen, trotzdem wurde das Wasser bis zu einer Höhe von 20 m gehoben[3]). Obwohl nun ein aus einzelnen Teilen zusammengelötetes kupfernes Rohr hergestellt wurde,

[1]) Papin, Ars nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevandam. Casselis (Francofurti a. M.) 1707.

[2]) Gerland, Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin, S. 367. — [3]) So ergibt sich die Erfindungsgeschichte der Dampfmaschine nach den noch vorhandenen Quellen; die von Poggendorff, Geschichte der Physik, Leipzig 1879, S. 531 ff., gegebene ist völlig unrichtig.

so vereitelten die mannigfachen anderweitigen Geschäfte des Landgrafen die Wiederholung des Versuches, und Papin verließ nun mit gnädigem Abschied Kassel, um in London diese Versuche fortzusetzen. Seine Abreise geschah auf einem kleinen Schiff mit den damals bereits von vielen Seiten vorgeschlagenen Ruderrädern[1]), das er sich zu deren Prüfung gebaut hatte und mit dem er auch in Gegenwart Leibnizens Versuche angestellt hat[2]). Es wurde ihm in Münden durch die dortigen Schiffer zerstört, hat aber zu der Fabel von Papins Dampfschiff Veranlassung gegeben. Ein solches hat er nie gebaut. Dagegen dürfen einige Verbesserungsvorschläge, die Leibniz machte, nicht unerwähnt bleiben, die in dem Brief vom 4. Februar 1707 enthalten sind[3]). Zunächst entwirft er eine Speisevorrichtung des Kessels, deren Notwendigkeit Papin auch bereits empfunden und ausgedacht hatte. Weiter meint er, daß man leicht eine Vorrichtung zur Selbststeuerung der Hähne, die den Dampf in den Zylinder eintreten und wieder austreten ließen, anbringen könne. Endlich denkt er daran, den Windkessel mit einer unten offenen Hülle zu umkleiden, unter die der austretende Dampf jedesmal treten sollte. „Denn es ist sicher," meint er[4]), „daß die Wärme der gewöhnlichen Luft ebensoviel Kraft verleiht wie die Zusammendrückung, und die nämliche Wärme gäbe der auf die Hälfte oder ein Drittel zusammengepreßten Luft etwa zwei oder dreimal soviel der Kraft, welche sie der, wie die gewöhnliche Luft, einfach zusammengepreßten, verleihen würde." Damit sprach Leibniz zum erstenmal die Idee der kalorischen Maschine aus.

Weder Papins noch Saverys Maschinen sind jemals in Verwendung genommen. Die des letzteren konnte nicht genügend arbeiten, da ja der auf das kalte Wasser treffende Dampf sich sofort niederschlug und seine Spannkraft einbüßte; machte man ihn aber zu heiß, so büßte die Maschine ihre Wasser ansaugende Kraft ein. Die Retorte

---

[1]) Gerland, Nachtrag zu Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin. Sitzungsberichte der Königl. Preuß. Akademie der Wissenschaften, Berlin 1882, S. 979.

[2]) Vgl. Schott, Technica curiosa. Norimbergae 1664, S. 386 ff.

[3]) Gerland, Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin, S. 372.

[4]) Ebenda S. 373: Car il est deja seur, que la chaleur donne à l'air ordinaire autant de force que la compression, et la même chaleur donneroit à l'air comprimé au double ou triple, environ deux ou trois fois autant de force qu'elle donneroit à l'air comprimé au simple, tel que l'ordinaire.

konnte deshalb nicht Dampf genug für beide Zylinder liefern[1]). Dagegen erhielten Desaguiliers und s'Gravesande brauchbarere Ergebnisse mit ihr, als sie den einen Zylinder ganz wegließen[2]). Solche Unvollkommenheiten zeigten Papins Entwürfe nicht, aber ihm fehlten die Mittel zur Ausführung. Die erste in Betrieb gesetzte Dampfmaschine baute New Comen nach dem Muster der Papinischen Niederdruckmaschine, mit der ihn Hooke bekannt gemacht hatte, indem er ihr den Kessel der Hochdruckmaschine hinzufügte, und es ist ja bekannt, daß ihm die wichtigsten Verbesserungen daran der Zufall in den Schoß warf. Und wie mit den mitgeteilten ging es noch einer Reihe anderer Entwürfe des vielgeprüften Forschers. Für seine erste Maschine hat er eine Reihe Öfenkonstruktionen entworfen[3]) und dadurch Einrichtungen getroffen, die jetzt Gemeingut geworden sind, die Erfindung des Luftkissens, die Verwendung der schwefeligen Säure als antiseptisches Mittel, das Herstellen von Konserven durch Auskochen und nachherigen Verschluß verdanken wir ihm. Auch die Übertragung einer Wasserkraft auf weite Entfernungen rührt von ihm her und zwar wollte er dazu durch ein Wasserrad zwei Luftpumpen treiben lassen, die zwei andere in größerer Entfernung aufgestellte nach Art der Niederdruckdampfmaschine in Bewegung setzen sollten[4]).

Weniger glücklich war Papin in seinen theoretischen Arbeiten, die ihm freilich auch ferner lagen. Lange hat er gegen Leibniz die Ansicht des Des Cartes verfochten, daß das Maß der Kräfte der Geschwindigkeit proportional sei, während Leibniz dafür deren Quadrat setzen wollte. Der Streit schlief nach und nach ein, ohne daß Papin nachgegeben hätte, doch machten ihm Huygens und Leibniz seinen Kartesianismus zum Vorwurf[5]). Auch den Streit mit dem Bologneser Professor Guglielmini (1655 bis 1710)

---

[1]) Vgl. Papins Kritik im Brief an Leibniz vom 23. Juli 1705. Ebenda S. 345 und Ars nova etc., S. 707, Cap. IV, S. 26 ff.

[2]) Desaguiliers, A cours of experimental philosophy. London 1725. Holländische Übersetzung, Amsterdam 1751, T. III, S. 82.

[3]) Gerland, Die Öfenkonstruktionen Papins. Glasers Annalen 1884, S. 162.

[4]) Papin, Nouvelle Machine pour transporter la force des Rivières dans les lieux fort éloignez. Nouvelles de la République des Lettres, T. X, 1688, S. 1308. Acta Eruditorum 1688, S. 644. Auch Recueil etc.

[5]) Leibnizens mathematische Schriften, herausgegeben von C. Gerhardt III. Folge, Bd. II, Berlin 1850, S. 133

über das Fließen des Wassers in Kanälen hat er nicht zu Ende geführt, obwohl die von ihm verfochtene Meinung, daß die oberen Wasserteilchen rascher als die unteren fließen und diese gegen den Grund drängen müßten, sich behauptet hat[1]). Daß er sich über das Wesen der Wasserdämpfe andere Ansichten bildete, als zu seiner Zeit üblich waren, war natürlich, er sowohl wie namentlich auch Leibniz kamen den modernen Anschauungen darüber nahe genug, und es wird später darauf zurückzukommen sein.

5. Amontons, Mariotte und Fahrenheit.

a) Amontons und seine Meßapparate.

Wenn es Papin und Savery allein von ihren Zeitgenossen gelungen war, die Aufgabe, mit Feuer Arbeit zu verrichten, in brauchbarer Weise zu lösen, so beschäftigte sich doch auch eine Anzahl unter ihnen mit dem nämlichen Problem. Eine Lösung, die äußerlich an die Dampfturbine erinnert, hat 1699 Amontons angegeben. Guillaume Amontons war 1663 in Paris geboren, hatte früh das Gehör verloren und wurde, nachdem er eine Zeitlang bei den öffentlichen Bauten tätig gewesen war, zum Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Paris ernannt, wo er 1705 starb. Seine erste Veröffentlichung betraf die „Feuermühle[2])". Sie bestand aus einem Rad, welches um eine horizontale Achse drehbar senkrecht zu dieser in vier Abteilungen geteilt war. Jede dieser Abteilungen enthielt wieder zwölf Kammern, von denen die der einen mit Luft gefüllt waren, während die Bestimmung der benachbarten die war, Wasser aufzunehmen. Je eine Luftkammer stand aber in solcher Weise mit einer Wasserkammer in Verbindung, daß die sich ausdehnende Luft das Wasser aus einer Kammer in die andere trieb und so das Rad in Drehung versetzte. Dabei wurde die Luftkammer nach unten geführt und kühlte sich, nunmehr aus der Nähe des Ofens entfernt, ab, während eine folgende erhitzte Luftkammer eine neue Drehung in dem nämlichen Sinne hervorrief. Leibniz teilte Papin mit, daß er einen ähnlichen Gedanken gehabt habe, aber komprimierte Luft und die Verdampfung des Wassers anwenden

---

[1]) Gerland, Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin usw., S. 78. — [2]) Amontons, Moyen de substituer commodement l'action du feu à la force des hommes et des chevaux etc. Mémoires de l'Académie Française 1699, S. 112.

wollte[1]). Dieser hat aber doch recht behalten, wenn er an der praktischen Ausführbarkeit zweifelte, da die die Kammern begrenzenden Bleche nicht standhalten und so diese dann zu Undichtigkeiten Veranlassung geben würden[2]). Immerhin fand die Feuermühle Nachahmungen genug, brauchbar wurde sie aber deshalb doch nicht. Es ist die Maschine, um derentwillen ihm Heller[3]) den ganz ungerechtfertigten Vorwurf macht, er habe die Unmöglichkeit des Perpetuum mobile nicht eingesehen.

Ob sie Amontons jemals ausgeführt hat, muß bezweifelt werden, aber ihren Nutzen hat er augenfällig zu machen versucht, indem er die Kraft von Menschen und Tieren in der Absicht, sie durch die Kraft des Feuers (l'action du feu) zu ersetzen, bestimmte, in einer Weise freilich, die Papin nicht völlig billigte[4]). Allgemeinere Anerkennung erfuhren dagegen seine Versuche über die gleitende Reibung starrer Körper, deren Maß er in der Kraft sah, die ihn auf horizontaler Unterlage fortziehen konnte, und deren Größe er erhielt, indem er eine Schnur, die er parallel der Unterlage an dem Versuchskörper befestigte, über eine Rolle gehen ließ und ein Gewicht daran hängte. So fand er, daß die Größe der Reibung sehr wesentlich vom Druck abhänge, und nicht nur, wie man früher angenommen habe, von der Größe der reibenden Fläche[5]).

So großes Interesse diese Ergebnisse, die er durch den Versuch bestätigte, nun auch erregten, für die Physik waren die bedeutsamer, um derentwillen er Mitglied der Akademie wurde. Sie hatten die meteorologischen Instrumente zum Gegenstande und wurden von ihm 1695 in einer besonderen Schrift[6]) bekannt gemacht. Er nahm darin auch die Untersuchungen auf, die er früher angestellt hatte. Schon im Jahre 1688 veröffentlichte er den Entwurf zu einem abgekürzten Barometer[7]), indem er das 28 Zoll lange Barometerrohr zweimal U-förmig bog und so ein aus drei je 14 Zoll langen parallelen Röhren-

---

[1]) Gerland, Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin usw., S. 279.

[2]) Ebenda Brief Papins vom 22. September 1704, S. 331.

[3]) Heller, Geschichte der Physik, Bd. II, Stuttgart 1884, S. 179.

[4]) Ebenda Brief Papins, S. 332.

[5]) Amontons, Sur la résistence causée dans les machines par le frottement et par la roideur des cordes. Mémoires de l'Académie Française 1699.

[6]) Amontons, Remarques et expériences physiques. Paris 1695.

[7]) Amontons, Acta Eruditorum 1688, S. 374.

stücken bestehendes Instrument erhielt, welches aus zwei abgekürzten Barometern bestand, die vermittels der im Verbindungsrohr befindlichen trocknen Luft aufeinander wirkten. An den Stellen, wo die Quecksilberoberflächen auf- und abschwankten, waren die Röhren zu Kammern erweitert. Später nahm er die von Hooke so unvollkommen gelöste Aufgabe eines Seebarometers in Angriff und löste sie, einen von den Mitgliedern der Accademia del cimento angestellten Versuch benutzend, in brauchbarer Weise. Er nahm ein gerades einerseits geschlossenes Glasrohr, dessen lichte Weite nach dem offenen Ende zu so stark verringert war, daß in das Rohr gefülltes Quecksilber nicht ausfloß. Um es aber einfüllen zu können, war das äußerste Ende der Öffnung trichterförmig erweitert. Wurde nun das mit Quecksilber gefüllte Rohr umgekehrt, so fiel das Quecksilber herab, und die an einer auf ihm angebrachten Teilung abgelesene Länge des Fadens gab den Barometerstand [1]). Aufbewahrt wurde das Barometer mit dem offenen Ende nach oben. Auch das Hygrometer, welches Amontons auch bereits 1688 herstellte, zeigte eine ganz andere Einrichtung, wie die bisher üblichen, wenn es diese auch an Genauigkeit kaum übertreffen mochte. Ein Glasrohr war oben und unten zu einer Kugel aufgeblasen, beide Kugeln aber besaßen je eine kleine Öffnung. Die untere Kugel war in eine weitere Kugel von Buchenholz, Horn oder Lammsleder eingeschlossen, die so mit Mastix an das Glasrohr angekittet wurde, daß in sie hinein gebrachtes Quecksilber bei Änderung des Durchmessers der Kugel bei wechselndem Feuchtigkeitsgehalt der Luft in die Glaskugel ein oder aus ihr heraustreten mußte, ohne einen anderen Ausweg zu finden. Es füllte den unteren Teil des Glasrohres aus, darauf war eine andere Flüssigkeit von niedrigem Schmelzpunkt und auf diese etwas Öl gegossen. Änderungen des Durchmessers der aus hygroskopischer Substanz bestehenden äußeren Kugel ließen das Öl auf- und abschwanken und aus seinem Stand einen Schluß auf den Feuchtigkeitsgehalt der Luft ziehen [2]).

Die Genauigkeit, mit der diese von Amontons angegebenen Apparate abgelesen werden konnten, war indessen nur eine beschränkte. Das Bedürfnis, sie zu erhöhen, hatte bereits früher zu anderen Vorschlägen Veranlassung gegeben. Huygens hatte 1672 die Baro-

---

[1]) Amontons, Remarques etc., S. 121.

[2]) Amontons, Mémoires de l'Académie Française. Paris 1688, S. 245.

meterkammer des Gefäß- und des Heberbarometers erweitert, auf das Quecksilber im Rohre des Gefäß- und im kurzen Schenkel des Heberbarometers jedoch Wasser gebracht, die Kammern darüber aber in Rohre ausgezogen[1]). Um die Skala auf eine größere Länge auszubreiten, wandte man das auch jetzt noch benutzte Mittel an, das sie tragende Rohrstück in geneigter oder fast horizontaler Lage anzubringen. Dazu benutzten Rammazini[2]) (1633 bis 1714) und etwas später Sir Samuel Moreland[3]) (1625 bis 1695) den oberen Teil des Rohres eines Gefäßbarometers, Cassini (1677 bis 1756) und Johann Bernoulli[4]) (1667 bis 1748) den kurzen Schenkel eines Heberbarometers, dessen Kammer sie zu einer Kugel erweiterten. Da aber durch diese Anordnung nur die Ablesung eines der Quecksilberspiegel gefordert wurde, so tat dies der Genauigkeit auch wieder Abbruch. Auch die bereits erwähnten Verbesserungsversuche Hookes ermöglichten nur eine beschränkte Genauigkeit, eine größere erreichte erst Derham[5]) (1657 bis 1735), indem er einen an einer Zahnstange befestigten Zeiger auf den unteren Meniskus eines Heberbarometers einstellte, dann auf den oberen einen zweiten mittels Getriebe an der Zahnstange verschiebbaren und nun den Abstand zwischen beiden Zeigern genau abmaß. Wie dann Stephen Gray 1698 diesen Vorschlag durch Konstruktion des Kathetometers noch wesentlich verbesserte, ist bereits dargelegt worden.

Einen hübschen Versuch ersann Amontons auch, um den niedrigen Barometerstand bei Sturm zu erklären. Seine weitaus wichtigsten Arbeiten aber hatten die Verbesserung der Temperaturbeobachtungen zum Gegenstand. Das zweite Barometer von Huygens hatte der Pariser Glaskünstler Hubin dadurch zu einem Luftthermometer umgeformt[6]), daß er auf den Schenkel des Heberbarometers ein am Ende zu einer Kugel erweitertes Rohrstück aufgesetzt, die Barometerkammer des langen Schenkels aber mit einer Öffnung versehen hatte.

---

[1]) Huygens, Journal des Sçavans vom 12. Dec. 1672. III. Amsterdam 1673, S. 137.

[2]) Gilberts Annalen, Bd. II, Leipzig 1799, S. 334.

[3]) Gehlers Physikalisches Wörterbuch I. Leipzig 1825, S. 773 ff.

[4]) Bernoulli, Acta Eruditorum 1716, S. 10.

[5]) Derham, Philosophical Transactions. London 1698, S. 45.

[6]) Huygens, Brief vom März 1673. Oeuvres complètes, T. VII. La Haye 1897, S. 261

Indem nun das erstere Rohrstück Luft enthielt, wurde das Barometer zum Luftthermometer. Die wenig einfache, ein Differentialthermometer darstellende Form, die ihm Hubin gab, hat Amontons zwar beschrieben[1]), aber nicht verwendet. Doch gab er der Luft als thermometrische Substanz vor dem Alkohol den Vorzug. „Aber außerdem", sagt er [2]), „daß der Weingeist nicht ebenso rasch, wie die Luft beeinflußt wird, und daß die großen Massen langsamer wie die kleinen solchen Einfluß wahrnehmen lassen, so ist es anderseits unmöglich, daß die Röhren von einem bis zum anderen Ende die gleiche Weite haben." Aus diesem Grunde entschied sich Amontons für das Luftthermometer. Er nahm ein U-förmig gebogenes Glasrohr mit einem kurzen, am Ende zu einer Kugel aufgeblasenem und einem etwas über 45 Zoll langem, offenem Schenkel und sperrte in der Kugel eine gewisse Menge Luft ab, indem er in den längeren Quecksilber hereingoß. Bei einem Barometerstand von 28 Zoll mußte er nun 45 Zoll Quecksilber zugießen, wenn diese Luftmenge gerade die dem kurzen Schenkel angesetzte Kugel ausfüllen sollte, während sie von siedendem Wasser umgeben war. In ein Gefäß mit schmelzendem Eis gesetzt wurde sie aber ebensoweit durch eine Quecksilbersäule von 23½ Zoll zusammengepreßt. Diese Temperaturen sollten also an Stelle der früheren höchst unsicheren Bestimmungen der größten Wärme und Kälte treten, und so ist Amontons der erste, der den Siedepunkt als den oberen festen Punkt der Thermometerskala anwendete. Ob er von dem gleichen von Huygens früher gemachten Vorschlag Kenntnis hatte, wissen wir nicht, wahrscheinlich hat er den Gedanken selbständig gefaßt. Dafür spricht die einsichtige Art, mit der er sich über die Bedeutung eines Wärmegrades ausspricht. „Ein Thermometergrad", sagte er[3]), „kann nicht mit einem Wärmegrade verglichen werden und somit auch nicht dessen Maß abgeben." Da er aber bereits 1695 gefunden hatte [4]), „daß ungleiche Luftmassen

---

[1]) Amontons, Mémoires de l'Académie Française. Paris 1688, S. 150.

[2]) Amontons, Histoire de l'Académie royale des Sciences 1702, S. 157 ff.: Mais outre que l'esprit de vin ne reçoit pas l'impression aussi promptement que l'air, et que les grosses masses la reçoivent plus lentement que celles qui le sont moins, il est d'ailleurs presqu'impossible que leurs tuïaux soient égaux d'un bout à l'autre.

[3]) Amontons, ebenda: Un degré de Thermomètre ne peut être comparé à aucun degré de chaleur, et n'en sçauroit être par consequent la mesure.

[4]) Ebenda: que de masses inégales d'air chargées de poids égaux augmentoient également la force de leur ressort par des degrez de chaleur égaux.

unter gleichem Druck in gleicher Weise ihre elastische Kraft erhöhten, wie durch gleiche Grade der Wärme," so ergibt sich für ihn die folgende Bestimmung der Wärmegrade [1]). „Die Wärmegrade", sagt er, „sind die Mengen von Zollen und Linien in Quecksilberhöhen, welche die Wärme der elastischen Kraft der Luft zufügt", und wie richtig er diese verstanden hat, ergibt sich sofort aus der Begriffsbestimmung des absoluten Nullpunktes, auf den sie ihn führt: „Daher scheint es," fährt er fort [2]), „würde der niedrigste Kältegrad dieses Thermometers der sein, welcher die Luft ihrer Elastizität ganz beraubte; das aber wäre ein viel höherer Kältegrad, als derjenige ist, den wir für sehr kalt halten." Legt man die obigen Zahlen Amontons zugrunde, so kann man leicht den Ausdehnungskoeffizienten der Luft und daraus die Temperatur des absoluten Nullpunkts bestimmen, wie ihn Amontons erhalten haben würde, wenn er sich unserer Thermometerskala hätte bedienen können. Jener ergibt sich zu 0,004715, dieser demnach zu —239,5°. Obwohl diese Zahl zu der jetzt angenommenen viel besser stimmt, als eine große Zahl späterer Bestimmungen [3]), so läßt doch ihre Genauigkeit noch viel zu wünschen übrig. Die Abweichung erklärt sich wohl völlig aus dem Umstand, daß Amontons, der noch nicht die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Luftdruck bemerkt hatte, seinen Zahlen den unveränderlichen Barometerstand von 28 Zoll zugrunde legte [4]). Trotzdem bedeuten Amontons' Arbeiten einen nicht geringeren Fortschritt in der Kenntnis der Gase als die Boyles. Entdeckte dieser das erste, so fand jener das zweite Gasgesetz [5]). Aber

---

[1]) Amontons, Histoire etc. 1703, S. 52: Les degrés de chaleur c'est à dire la quantité des pouces et de lignes en hauteur de mercure que la chaleur fait soutenir au ressort de l'air.

[2]) Ebenda: d'où il paroît que l'extrême froid de ce Thermomètre seroit celui qui réduiroit l'air à ne soûtenir aucune charge par son ressort, ce qui seroit un degré de froid beaucoup plus considérable que celui que nous tenons pour très-froid.

[3]) Vgl. die Zusammenstellung in Gerland, die Entdeckung der Gasgesetze usw. in Diergart, Beiträge aus der Geschichte der Chemie. Leipzig und Wien 1909, S. 360.

[4]) Gerland, Über Amontons' Leistungen in der Thermometrie. Festschrift des Vereins für Naturkunde zu Cassel zur Feier seines fünfzigjährigen Bestehens. Cassel 1886, S. 69.

[5]) Gerland, Über die Stetigkeit der Entwicklung der physikalischen Kenntnisse. Physikalische Zeitschrift 1908, 9. Jahrg., S. 610 und Diergart, Die Entdeckung der Gasgesetze usw., S. 359.

man verstand im 18. Jahrhundert nicht die Tragweite seiner Arbeiten, hatte sie im 19. wohl vergessen; doch hatte Lambert[1]) ihren Wert erkannt und die Sachlage wohl richtig bezeichnet, wenn er meinte, Amontons könne sich auf seine Arbeit recht viel zugute halten, die vielleicht deswegen, weil sie zu schön und sehr wahr sei, Ungläubige vor sich gefunden habe.

b) Mariotte und die Optik.

Wie nun Amontons' schöne Entdeckung des zweiten Gasgesetzes noch vielfach Charles oder gar Gay Lussac zugeeignet wird, so ist es mit dem ersten Boyle ähnlich ergangen. Es trägt bis zum heutigen Tage den Namen Mariottes, obgleich dieser es volle sechzehn Jahre später, als jener, fand, und man glaubt dem ersten Entdecker schon genügend gerecht zu werden, wenn man das Gesetz das Boyle-Mariottesche nennt. Geboren um 1620 in Bourgogne war Edme Mariotte in den geistlichen Stand eingetreten; er war Prior von St.-Martin-sous-Beaune bei Dijon, als er kurz nach deren Stiftung 1666 zum Mitgl ed der Pariser Akademie der Wissenschaft berufen wurde. Infolgedessen siedelte er nach Paris über, wo er 1684 starb. Gemäß seiner Stellung in der Akademie erstreckten sich seine Arbeiten über die verschiedenen Zweige der Physik, in deren Schriften sowie in besonderen Werken er seine Ergebnisse mitgeteilt hat. So waren es die Arbeiten Galileis über die Festigkeit, denen er die Untersuchungen des Verhaltens der einzelnen Fasern vor dem Bruche zufügte und dabei die Bruchfestigkeit auf die absolute Festigkeit bezog[2]). Suchte er einerseits die Arbeiten des großen Florentiners weiter zu führen, so unternahm er es andererseits, die Gesetze vom Stoß, wie sie Huygens 1669 bekannt gemacht hatte, durch Versuche zu beweisen. Zu diesem Zwecke hing er eine Reihe von Elfenbeinkugeln so an zwei Fäden auf, daß sie in der Ruhelage einander berührten, aus derselben gebracht in der Richtung ihrer Verbindungslinie schwingen konnten, und stellte so die Stoß- oder Perkussionsmaschine her, wie sie auch jetzt noch zu dem gleichen Zwecke benutzt wird. Auch Fallversuche hat er angestellt, indem er Bleikugeln behufs Ermittelung des Luftwiderstandes in der

---

[1]) Lambert, Pyrometrie. Berlin 1779, S. 29.

[2]) Mariotte, Traité du mouvement des eaux et des autres fluids. Paris 1686.

Pariser Sternwarte von einer Höhe von 166½ Fuß herabfallen ließ[1]). Seine Wasserwage bestand aus einer ebenen, genügend großen Wasserfläche, über die er nach einer im Abstand von 2 bis 3 Zoll zwei schwarze Linien tragenden Meßlatte hinsah und diese so einstellte, daß im gleichen Abstand eine dritte Linie, das Spiegelbild der oberen, im Wasser sichtbar wurde. Die untere Linie lag dann mit der Wasserfläche in einer Horizontalebene[2]). Seine Versuche mit Flüssigkeiten führten ihn zur Konstruktion der nach ihm genannten Flasche, mit deren Hilfe er den Luftdruck nachweisen wollte, indem er aus einem an ihrem unteren Ende angebrachten Rohransatz Wasser unter gleichbleibendem Druck ausfließen ließ. Auch die Reibung der Flüssigkeiten in den von ihnen durchflossenen Röhren untersuchte er und wies in ihr und dem Luftwiderstande den Grund nach, warum die Höhe, zu der der Strahl eines Springbrunnens emporsteigt, immer um ein beträchtliches hinter der Höhe, von welcher das ihn speisende Wasser herabgesunken ist, zurückbleibt[3]). Die Versuche, deren Zweck war, die Abhängigkeit des Volumens einer abgesperrten Gasmenge vom Druck zu finden, ließen ihn das Boylesche Gesetz noch einmal auffinden, das, da seine Schriften sich bald großer Verbreitung erfreuten, lange aber mit Unrecht seinen Namen trug. Die Versuche stellte er in der nämlichen Weise an, wie dessen erster Entdecker Boyle[4]), und es ist schwer zu verstehen, wie es möglich gewesen sein soll, daß Mariotte die Schrift seines Vorgängers, die die wichtige Entdeckung enthielt, unbekannt geblieben sein kann. War sie doch schon 1662 erschienen, und da sie in der Streitschrift gegen Linus enthalten war, Streitschriften aber gewöhnlich die Aufmerksamkeit anderer mehr als andere Arbeiten erregen, so möchte man die Annahme kaum zurückweisen können, daß sie Mariotte in der Zwischenzeit hat kennen lernen müssen, wenn auch vielleicht, falls er etwa nicht die englische Sprache verstand, nur in der 1669 in Rotterdam erschienenen lateinischen Übersetzung. Auch spricht die folgende Stelle aus einem Briefe von Tschirnhaus an Huygens vom 30. August 1683 kaum für Mariottes Unbefangenheit Boyle gegenüber. Nachdem der deutsche Gelehrte von der Absicht La Hires

[1]) Mariotte, Oeuvres Leyde 1717. Vol. I. Traité de la Percussion ou choc des Corps. Paris 1677.

[2]) Ebenda Vol. II, S. 538. Traité du Nivellement.

[3]) Ebenda Vol. II Traité du mouvement des eaux et des autres fluides 1686.

[4]) Ebenda Vol. I Essai sur la nature de l'air. 1676, S. 149.

die Mittel der Pariser Akademie auch den auswärtigen Mitgliedern zugänglich zu machen, gesprochen hat, fährt er fort [1]): „Indessen habe ich selbst gehört, daß, als Herr Mariotte in der Akademie erzählte, Herr Boyle habe gebeten, mit ihm einen brieflichen Verkehr zu eröffnen, dieser dringend abgeraten hat, indem er verschiedene Erfahrungen anführte, um darzutun, wieviel Schaden der Akademie aus solchem Verkehr mit Außenstehenden erwüchse." Daß Mariotte Boyle in seinen Werken nicht anführt, mag ihm ebensowenig zum Vorwurf gereichen, wie Galilei und Des Cartes die gleiche Gepflogenheit. Unter allen Umständen aber muß man sich daran gewöhnen, das Gesetz nach Boyle und nur nach Boyle zu nennen. Die unrichtige Bezeichnung mag ja ihren Grund darin haben, daß Mariottes Schriften sich rasch verbreiteten, die Berechtigung fällt vollständig weg, seitdem nachgewiesen werden konnte, daß Boyle dem Gesetz auch seine Fassung gegeben hat. Wenn er nun das Gesetz auch nicht gefunden haben sollte, so hat Mariotte doch versucht, mit seiner Hilfe die von Torricelli vorhergesagte und von Pascal zuerst beobachtete Abnahme des Barometerstandes mit der Höhe zu deren Messung verwendbar zu machen. Aus Versuchen, die er in der Pariser Sternwarte angestellt hatte, schloß er, daß einem Unterschiede im Barometerstande von $^1/_{12}$ Linie im Mittel ein Höhenunterschied von $7^1/_2$ Fuß par. entspreche, wobei er freilich statt der kontinuierlichen Abnahme der Barometerhöhe eine sprungweise annahm [2]). Erhielt er so eine Annäherung an den wahren Wert des Höhenunterschiedes, so war auch seine Erklärung der oft beobachteten Tatsache, daß das Barometer bei Nord- und Ostwind hoch, bei Süd- und Westwind aber tief steht, nur teilweise ausreichend. Jene kalten Winde sollten von oben herab, die warmen aber längs der Erdoberfläche hinwehen.

Dasjenige Gebiet, auf dem Mariotte wohl am selbständigsten auftrat, waren einige Teile der Optik. So suchte er die Erscheinungen der Fluoreszenz zu erklären. Diese hatte bereits Grimaldi am lignum nephriticum, dem blauen Sandelholz, beobachtet und dahin

---

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VIII, 1899, S. 464. Imo ipse audivi, quod, cum in Academia D(ominus) Mariotte referret, quod D. Boyle rogasset, ut cum ipso commercium literarium institueret, hic ultra modum hoc dissuasit, ad ductis varijs experientijs, quibus evincere conabatur, quantum damnum Academiae ex ejusmodi commercio cum extraneis accesserit.

[2]) Essai sur la nature de l'air 1676.

erklärt, daß die von den gelösten Teilchen reflektierten Lichtstrahlen blaues, die zwischen ihnen hindurchgehenden gelbes Licht gäben [1]). Eine ähnliche Erklärung hatte Newton [2]) gegeben, die freilich ebenfalls nichts weiter als die Beschreibung der auch von Boyle [3]) und Hooke [4]) beobachteten Tatsache war. Auch Mariotte [5]) kam nicht viel weiter, wenn er sie mit der Farbe der Luft verglich, die leicht getrübt blau erschiene. Dagegen gelang es ihm, einige Himmelserscheinungen aufzuklären, die auch Des Cartes und Huygens bereits zum Gegenstand ihrer Studien gemacht hatten. Es sind dies die Sonne und Mond ohne Zwischenraum umgebenden farbigen Ringe, die Höfe (coronae), die in größerem Abstande von meist 22° oder 46° Halbmesser mit schwachen farbigen Rändern auftretenden größeren Ringe (halones) und die Nebensonnen oder Nebenmonde (parhelii oder paraselenae). Des Cartes hat nur die beiden letzteren auf ihre Ursachen zurückzuführen gesucht. Er nahm an, daß sie durch Eisteilchen, die in Form sechsstrahliger Sternchen in der Luft schwebten, hervorgerufen würden. Wenn diese auch zur Erde herabkommend ebene Oberflächen zeigten, so würden sie, meint er, in großen Höhen in der Mitte dicker als an den Rändern sein, die einen mehr, die anderen weniger und somit wie Prismen wirken. Von der Sonne ausgehende, auf einer Kegelfläche liegende Strahlen sollten dann durch diese so gebrochen werden, daß sie eine zweite Kegelfläche bildeten, deren Spitze das Auge sei. Infolge davon erblicke dieses einen hellen Kreis von dem durch die Öffnung des Kegels bestimmten Halbmesser, der infolge der Prismenwirkung farbige Ränder zeige [6]). Die Nebensonnen aber sollten dadurch entstehen, daß durch die Nordwinde die Bestandteile der Wolken zu Eis erstarrten, diese Eisteilchen aber an der der Sonne zugewendeten Seite zu einer Masse von konvexer Form zusammenschmölzen, deren optische Wirkung sich in dem Auftreten der Nebensonnen äußerte [7]).

---

[1]) Grimaldi, Phisico-Mathesis de lumine, coloribus et iride. Bononiae 1665, Lib. I, Prop. 42, Nr. 19, S. 327.

[2]) Opticks, Lib. I, P. II, Prop. XI.

[3]) Boyle, De Coloribus: Genevae 1680, S. 78.

[4]) Birch, The history of the Royal society of London. London 1757, Vol. III, S. 54.

[5]) Oeuvres de Mariotte. Leide 1717, T. I, S. 307.

[6]) Des Cartes, Opera philosophica. Ultima Editio 1692. Meteora, Kap. IX, § IV, S. 229.

[7]) Ebenda Kap. X, S. 234 ff.

Diese Erklärung war nicht dazu angetan, Huygens zu befriedigen. Er gab deshalb eine andere der Halos, mittels der es ihm gelang, deren beobachteten Durchmesser wenigstens annähernd zu berechnen. Dabei ging er von der Beobachtung aus, daß die durchsichtigen, kugelförmigen Hagelkörner sehr oft einen undurchsichtigen Schneekern besitzen, dessen Durchmesser in einem bestimmten Verhältnis zu dem des ganzen Kornes stehe. Die beiden den Kern berührenden Strahlen würden dann so gebrochen, daß sie sich außerhalb der von der Sonne abgewandten Seite des Tropfens schnitten und demnach so zerstreut, daß sie erst von einem gewissen Winkelabstand, der je nach der Größe des Kernes ein doppelter sein kann, in das Auge fallen. Diese Strahlen müssen nun auf einer Kegelfläche liegen und so zu dem Auftreten des hellen Kreises Veranlassung geben [1]). Zur Erklärung der Nebensonnen war er freilich gezwungen, mit senkrechter Achse schwebende Eisnadeln von Zylinderform mit Schneekern anzunehmen, wie man sie nach der Angabe von Des Cartes wohl beobachtet haben wollte [2]).

Aber Huygens' Theorie stellte die Erscheinungen nicht mit der wünschenswerten Genauigkeit dar, und so unternahm es Mariotte, sie durch eine bessere zu ersetzen. Dies gelang ihm in solcher Weise, daß seine Erklärung der kleineren Halos, auf die er sich beschränkte, auch jetzt noch als die ausreichende angenommen wird. Die Erklärung der Höfe aus der Doppelbrechung, welche die Strahlen in Dunstbläschen oder schmelzenden Schneeflocken erleiden sollte, ist hier freilich nicht anzuführen, da sich daraus die wirklich beobachteten Farben nicht erklären würden [3]). Dagegen gelang es ihm, die häufig beobachteten Halos, die um etwa 22° von der Sonne oder dem Mond abstehen, zu erklären. Er nahm an, daß sie durch Brechung in kleinen Eisnädelchen von gleichzeitig dreieckigem Querschnitt und von genügender Durchsichtigkeit entstehen, wie solche sich zu den sternförmigen Schneeflocken zusammenfügen. Unzählige von ihnen erfüllen die Luft, und so wird es nicht ausbleiben können, daß ihre Achsen alle möglichen Lagen gegen die Verbindungslinien des leuchtenden Gestirnes zum Auge des Beobachters einnehmen. Von den vielen von diesen, deren Achsen senk-

---

[1]) Huygens, Opera reliqua. Vol. II, Amstelodami 1728. Dissertatio de Coronis et Parheliis. § 3, S. 6.

[2]) Ebenda § 11, S. 14.

[3]) Oeuvres de Mariotte. Leide 1717, Traité des couleurs. T. I. S. 268.

recht zu jener Linie stehen, werden nun die durch die Prismenwirkung gebrochenen Strahlen verschiedener Farbe in das Auge gelangen, und indem Mariotte das Brechungsverhältnis von Eis in Luft zu $^4/_3$ setzte, berechnete er, daß wenn die Ablenkungswinkel der Strahlen sich nur um einen Winkel von 2° 34' ändern sollten, eine Drehung der Prismen von 22° um ihre Achse vor sich gehen müßte. In dem Abstand von etwa 22° von Sonne oder Mond mußte also ein heller Kreis erscheinen, der nach innen zu von roter Farbe und scharf begrenzt sein müßte, wie die Beobachtung in der Tat zeigt. Denn unter einem kleineren Winkel als 21°34' kann kein Lichtstrahl durch das Prisma in das Auge gelangen, er wird eben reflektiert. Mariotte begnügte sich damit, nur das Entstehen der kleineren Halos zu erklären. Doch haben die Folgerungen aus der von ihm gemachten Annahme, die spätere Forscher daraus zogen, auch das Entstehen der Halos von größerem Durchmesser zwanglos erklären lassen. Der Scharfsinn Mariottes tritt in helles Licht, wenn man bedenkt, daß noch Newton in seiner Optik [1]), wie bereits früher Des Chales [2]) (1621 bis 1678) die Entstehung der Halos in der Wirkung von Lichtstrahlen sieht, die mit zweimaliger Brechung ohne Reflexion, wie beim Regenbogen, einen Wassertropfen oder ein kugelförmiges Hagelkorn durchsetzten, ihre scharfe Begrenzung aber, wie Huygens meinte, einem Kern von undurchsichtigem Schnee verdankten.

Auch das Auftreten der Nebensonnen suchte Mariotte aus der Annahme der Eisprismen in überzeugender Weise zu erklären. Es sei wahrscheinlich, meint er, daß unter Umständen eine größere Zahl von ihnen mit senkrechter Achse schwebten, wie dies dann der Fall sein müsse, wenn ihre beiden Hälften nicht gleich schwer seien. Durch solche betrachtet würde in demselben Abstand von der Sonne, wie ihn der weiße Kreis zeige, und in der nämlichen Höhe, wie sie ein Sonnenbild in den Farben des Regenbogens erscheinen, welches den Prismen, die ihre flache Seite der Sonne zukehrten, ihre Entstehung verdanke. Liege aber das Sonnenbild bei höherem Stande der Sonne ein wenig außerhalb des Hofes, so habe dies darin seinen Grund, daß die Sonnenstrahlen die Prismen unter größerer Neigung durchsetzten.

---

[1]) Newton, Opticks. I. Book. Part II, Prop. IX, Prob. IV, 2. Edition. London 1718, S. 155.

[2]) Des Chales, Cursus mathematicus. Lugd. Bat. 1674, T. III, S. 758.

Mit den übrigen auftretenden, sich schneidenden Kreisen, deren Erscheinung Huygens aus seiner Annahme auch abzuleiten suchte, hat sich Mariotte nicht beschäftigt [1]).

Dagegen interessierte ihn in hohem Grade die Art, wie das Sehen zustande kommt. Es war ihm bei der Zergliederung von Tieraugen aufgefallen, daß die Eintrittsstelle des Sehnerven der Pupille nicht gegenüberliege, und als er in der nämlichen Weise, wie dies auch jetzt noch geschieht, mit Hilfe von weißen Papierstückchen, die auf dunklem Grunde befestigt wurden, untersuchen wollte, in welcher Art das Sehen an dieser Stelle des Augenhintergrundes erfolge, so entdeckte er die überraschende Tatsache, daß diese Stelle unempfindlich, blind sei [2]). Diese Entdeckung machte das größte Aufsehen. Er mußte 1668 den Versuch dem Könige von England vorführen [3]). Andere Forscher, Picard [4]), später Le Cat [5]) (1700 bis 1768), Daniell Bernoulli [6]) (1700 bis 1782) u. a. suchten ihn abzuändern, Mariotte selbst gab ein Verfahren an, wie die blinden Stellen beider Augen, die noch die Mariotteschen Flecke genannt werden, durch den nämlichen Versuch nachgewiesen werden können [7]), aber er glaubte aus seiner Entdeckung den Schluß ziehen zu müssen, daß nicht, wie man bisher stets angenommen, die Netzhaut, sondern daß die Aderhaut der Sitz der Gesichtsempfindungen sei, deren schwarze Farbe ja ihre Empfindlichkeit erhöhen müsse, und als der Pariser Arzt Pecquett (gest. 1674) dem entgegenhielt [8]), daß einerseits die Netzhaut nicht durchsichtig, sondern nur durchscheinend sei, anderseits bei vielen Tieren große Stellen der Aderhaut keineswegs die schwarze Farbe zeigten, so meinte er diesen Einwand zurückweisen zu können, indem er darauf hinwies, daß die geringere Durchsichtigkeit der Netzhaut im lebenden Auge keineswegs vorhanden sei, daß die gefärbte Stelle auf der Ader-

---

[1]) Mariotte, Oeuvres. Leide 1717, T. II.

[2]) Ebenda T. II, S. 527. Lettres écrits sur le sujet d'une nouvelle découverte touchant la vue, Acta Eruditorum 1683, S. 68. Oeuvres, S. 496.

[3]) Birch, The history of the Royal Society of London, T. II, 1756, S. 281.

[4]) Mariotte, Oeuvres, S. 506.

[5]) Le Cat, Traité des sens, Rouen 1740, S. 171.

[6]) D. Bernoulli, Experimentum circa nervum opticum. Commentarii Academiae Petropolitanae, T. I, S. 314.

[7]) Mariotte, Oeuvres, S. 516.

[8]) Pecquet, Philosophical Transactions 1668.

haut der Tiere (das Tapetum, wie es jetzt genannt wird, das Licht) wohl zurückwerfe, einen weiteren Einfluß auf das Sehen aber nicht habe [1]). Die an der Eintrittsstelle des Sehnerven eintretenden Blutgefäße seien aber zu gering an Zahl, um aus ihnen, wie Pecquet wollte, deren Unempfindlichkeit begreiflich zu machen. Damit überzeugte er freilich ebensowenig Pecquet, wie De la Hire (1640 bis 1718), der sich ihm anschloß, wenn er auch zugab, daß die Aderhaut ursprünglich den Gesichtseindruck empfange, aber nur um ihn auf die Netzhaut zu übertragen. Auch Perrault (1613 bis 1688) trat auf die Seite seiner Gegner [2]), während Picard, Le Cat und Bernoulli seine Erklärung annahmen.

c) Fahrenheit und das Thermometer.

So tüchtig die Arbeiten Mariottes waren, für den Forschrittt der physikalischen Wissenschaft sind sie nur von geringer Bedeutung gewesen, das erste Gasgesetz war ja lange vor ihm aufgefunden. Umgekehrt wurden diejenigen des Danziger Fahrenheit, der 1686, zwei Jahre nach Mariottes Tode, das Licht der Welt erblickt hatte, für die messende Physik von größter Bedeutung. Als Kaufmann war er nach Amsterdam gekommen, hatte sich hier aber der Herstellung von Glassachen für physikalische Apparate gewidmet und starb dort 1736, nachdem er seine neue Heimat nur vorübergehend wieder verlassen hatte. Als er seine Tätigkeit begann, lag die Kunst, Thermometer herzustellen, sehr im argen. In Italien wurden sie hergestellt, italienische Händler vertrieben sie. Wie schlecht aber die verschiedenen Exemplare miteinander übereinstimmten, erzählt uns der Haller Philosoph Christian Wolf [3]) (1679 bis 1754), während er diejenigen, welche er später von Fahrenheit erhielt, nicht genug zu rühmen wußte. Betrachtet man die beiden noch von ihm in Leiden vorhandenen Thermometer, deren Echtheit durch 's Gravesande [4]) beglaubigt ist, so begreift man, daß Wolf mit ihnen zufrieden war; können sie sich doch mit unseren modernen Instrumenten recht wohl messen. Die früher

[1]) Mariotte, Oeuvres, S. 509.

[2]) Pristley, Geschichte der Optik, Deutsch von Klügel. Leipzig 1775, 1. Teil, S. 148.

[3]) Wolff, Acta Eruditorum. August 1714, S. 380.

[4]) 's Gravesande, Physices Elementa mathematica Experimentis confirmata. 3. Aufl. Leidae 1742, Tomus II, Taf. 81, Fig. 4.

stets angewendeten kugelförmigen Gefäße ersetzte er durch zylindrische, „welche wegen ihrer größeren Oberfläche schneller die Wärme durchströmen lassen“[1]), und bewies dadurch, wie weit er in der Glastechnik über seine Zeitgenossen hinaus vorgeschritten war. Daß aber seine Leistungen in der Herstellung der Skala, die er in Messingplatten eingravierte, ebenso hervorragend waren, beweisen ebenfalls die beiden uns erhaltenen Thermometer. Man könnte daran denken, daß er dazu eine Teilmaschine benutzt hätte, wie solche 1667 von demselben Townley, dem man so lange die Formgebung des Boyleschen Gesetzes zugeschrieben hat, erfunden worden war[2]). Da er sie aber bei der genauen Beschreibung, die er uns von der Herstellung seiner Thermometer hinterlassen hat, mit keinem Worte erwähnt, so ist dies sehr unwahrscheinlich. Wir besitzen nur einige wenige Abhandlungen darüber von ihm aus den Jahren 1724, welche er der Royal Society einsandte. „Zwei Arten von Thermometern werden von mir angefertigt,“ berichtet er, „die eine ist mit Weingeist, die andere mit Quecksilber gefüllt. Die Länge wird je nach dem Zwecke verschieden gewählt. Alle aber kommen darin überein, daß sie in der Gradzahl der Skala übereinstimmen und zwischen bestimmten Grenzen ihre Variationen haben. Die Skala derjenigen Thermometer, die nur zu meteorologischen Beobachtungen dienen, fängt bei 0 an und hört bei 96 auf. Diese Skala beruht auf der Bestimmung dreier Fixpunkte, die man auf folgende Weise erhält; der erste, unterste liegt am Anfang der Skala und wird gefunden durch eine Mischung von Eis, Wasser und Salmiak oder auch Seesalz; wenn man das Thermometer in diese Mischung taucht, so sinkt das Fluidum herab bis zu dem Punkte, der mit 0 bezeichnet ist. Dieser Versuch gelingt besser im Winter als im Sommer. Den zweiten Punkt erhält man, wenn Wasser und Eis ohne die erwähnten Salze vermischt werden; wenn man das Thermometer in diese Mischung taucht, wird die Flüssigkeit beim 32. Grade stehen und diesen Punkt nenne ich den Anfangspunkt des Gefrierens; denn stehende Gewässer überziehen sich schon mit einer zarten Eisschicht, wenn im Winter die Thermometerflüssigkeit diesen Grad erreicht. Der dritte Punkt befindet sich beim 96. Grade; und der Alkohol dehnt sich bis dahin aus, wenn das Thermometer im

[1]) Fahrenheit, Philosophical Transactions Vol. XXXIII 1723 und 1724, Nr. 388, S. 79. Übersetzt von A. von Öttingen in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften, Nr. 57, Leipzig 1894, S. 7.

[2]) Townley, Philosophical Transactions 1667, Nr. 29, S. 541.

Munde oder in der Achselhöhle eines gesunden Menschen steckt und dort so lange gehalten wird, bis es vollkommen die Temperatur des Körpers angenommen hat. Soll aber die Temperatur eines Fiebernden oder an anderen Krankheiten Leidenden untersucht werden, so muß man ein anderes Thermometer anwenden, dessen Skala bis 128 oder 132° verlängert ist. Ob diese Grade bei den hitzigsten Fiebern ausreichen, habe ich nicht erforscht, ich glaube aber nicht, daß die vorgenannten Grade in irgendeiner Fieberglut überschritten werden. Die Skala solcher Thermometer, die zum Bestimmen der Siedepunkte von Flüssigkeiten dienen sollen, fangen auch bei 0 an, reichen aber bis 600°, denn bei dieser Temperatur ungefähr fängt das Quecksilber (womit das Thermometer gefüllt ist) selbst an zu kochen."[1])

Fahrenheit stellte also dieser Mitteilung nach die langen Thermometer mit Quecksilber, die kürzeren mit Alkohol her. Da nun von den beiden in Leiden noch vorhandenen Thermometern das eine 600, das andere nur 96° besitzt, so stellte er auch kürzere Thermometer mit Quecksilber her, wie es auch bereits die Mitglieder der Accademia del Cimento in einzelnen Fällen getan hatten. Seinem eigenen Zeugnis nach war es die Beobachtung Amontons', daß die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer von der Temperatur abhängig sei, die ihn darauf führte [2]). Der ausgezeichnete Zustand des Quecksilbers in den beiden noch vorhandenen Fahrenheitschen Thermometern beweist, daß er es in sehr reinem Zustande verwendete. Da bereits seit 1655, wie Kinner von Löwenthurn am 4. Februar 1665 an Christian Huygens schrieb [3]), der Parmesische Arzt Dobrzensky von Schwarzbrück (Nigro Ponte) das für Barometer bestimmte Quecksilber durch Destillation reinigte, so möchte man vermuten, daß Fahrenheit ebenso verfuhr, obwohl auch die seit Bacon in Gebrauch befindlichen Methoden bei sorgfältiger Ausführung ausreichen mochten. Allgemein in Gebrauch genommen wurde es damals nicht,

---

[1]) Fahrenheit, Experimente und Beobachtungen über das Gefrieren des Wassers im Vakuum. Philosophical Transactions. London, Vol. XXXIII, 1724, S. 78. Übersetzung von A. von Oettingen. Ostwalds Klassiker, Nr. 57, Leipzig 1894, S. 6.

[2]) Fahrenheit, Versuche über den Siedepunkt einiger Flüssigkeiten. Philosophical Transactions, Vol. XXX, London 1724, S. 1. Ostwalds, Klassiker Nr. 57, Leipzig 1894, S. 3.

[3]) Huygens, Oeuvres complètes, T. V. La Haye 1893, S. 217.

Newton nahm, wie wir sehen werden, Leinöl, Réaumur kehrte zum Alkohol zurück oder besser, blieb bei demselben. Die 96 Grade des kleineren Thermometers weisen darauf hin, daß Fahrenheit seine Skala von den Florentiner Instrumenten übernahm. Denn die von Antinori gefundenen Thermometer zeigten bei größter Winterkälte 16, in der Sonne 80°, wie wir bereits sahen, und so würde sich auch die Überlieferung erklären, Fahrenheits Nullpunkt sei die Temperatur, welche er bei größter Winterkälte beobachtet habe. Eine Genauigkeit, wie wir sie von unseren Thermometern erwarten, ließ sich mit seiner Methode wohl nicht erreichen; in der Tat liegen die Nullpunkte der Leidener Thermometer auf 34,1 und 34,2°, eine Übereinstimmung, die immerhin für die Sorgfalt spricht, mit der er seine Instrumente herstellte.

Die Frage, ob er nicht vielleicht auch die jetzt gebräuchlichen Methoden bei der Herstellung seiner festen Punkte benutzt habe, liegt deshalb nahe, weil er zuerst fand, daß man die Schmelztemperatur des Eises von der Erstarrungstemperatur frierenden Wassers wohl zu unterscheiden habe, und daß der Siedepunkt des Wassers vom Luftdruck abhänge. Vor dem Jahre 1724, in dem er seine neuen Entdeckungen der Royal Society mitteilte, hat er es jedenfalls nicht getan, weil bei der Offenheit, mit der er die Art der Herstellung seiner Thermometer schildert, er diesen Punkt gewiß nicht unerwähnt gelassen haben würde. Ob er es später tat, wissen wir nicht. In jedem Fall waren beide Entdeckungen solche von größter Wichtigkeit für den Fortschritt der Wissenschaft. Die Mitteilung Hanows (1695 bis 1773) aber, Olaf Römer habe 1709 Fahrenheit auf die unveränderliche Temperatur des schmelzenden Eises und siedenden Wassers aufmerksam gemacht, beruht nachweislich auf einem Irrtum [1]).

Die Beobachtungen über das Gefrieren des Wassers im luftleeren Raum stellte er an den kalten Tagen im Anfange des März (alten Stils) 1721 an. Er füllte eine Glaskugel von ungefähr 1 Zoll Durchmesser zur Hälfte mit Regenwasser an, setzte sie so lange der Siedetemperatur aus, bis alle im Wasser gelöste Luft entwichen, und der über dem Wasser befindliche Raum nur noch mit Dampf gefüllt war, schmolz

---

[1]) Gerland, Die Entdeckung der Gasgesetze und des absoluten Nullpunktes der Temperatur durch Boyle (nicht Townley) und Amontons. Diergart, Beiträge aus der Geschichte der Chemie. Wien und Leipzig 1908, S. 357.

sie zu und setzte sie während einer ganzen Nacht einer Temperatur von 15° seiner Skala, also —9,4° der hundertteiligen aus. Trotzdem blieb zu seinem Erstaunen das Wasser flüssig. Als er dann die Spitze abbrach, wurde die ganze Wassermasse sehr schnell von feinen Eisplättchen durchsetzt. Die Temperatur dieses Wassers bestimmte er zu 32°, glaubte aber sein Erstarren dem Eindringen von Luft zuschreiben zu müssen. Als er aber den Versuch wiederholte und eine mit unterkühltem Wasser zur Hälfte gefüllte Glaskugel einige Stufen emportragen wollte, stolperte er und sah durch die Erschütterung die nämliche Wirkung eintreten. So erkannte er, daß die Erschütterung die Ursache der Eisbildung sei, konnte aber seine Versuche nicht fortsetzen, da Tauwetter eintrat [1]).

Den Siedepunkt des Wassers hatte er um das Jahr 1714 zu 212° gefunden, als er untersuchen wollte, ob andere Flüssigkeiten wie Wasser ebenfalls wie dieses einen festen Siedepunkt hätten [2]). Später fand er dann, daß diese Temperatur mit der Schwere der Luft sich änderte, und diese Entdeckung ließ erst die genaue Definition des zweiten festen Punktes der Thermometerskala zu. Daß Fahrenheit darüber vollständig im klaren war, beweist, daß er diese Eigenschaft des Siedepunktes benutzen wollte, um die Schwere der Atmosphäre zu bestimmen, als er das erste Hypsobarometer herstellte, ein Apparat, der in neuester Zeit nach dem Vorschlage des norwegischen Professors Mohn benutzt wird, um auf Schiffen die Größe der Schwere zu messen. Es bestand aus einem Thermometer mit geräumigem zylindrischen Gefäß, dessen Rohr in der Mitte kugelförmig erweitert war. Unterhalb dieser Erweiterung waren die Grade von 0 bis 96 aufgetragen, so daß der Teilstrich 96 gerade am Anfang der Erweiterung stand. Oberhalb derselben würde der Siedepunkt aufzutragen gewesen sein. Doch waren dort die Barometerstände von etwa 28 bis 31 Zoll aufgetragen, bis zu denen die Quecksilbersäule stieg, wenn der Apparat genügend lange der Temperatur des siedenden Wassers ausgesetzt wurde [3]).

---

[1]) Fahrenheit, Experimente und Beobachtungen über das Gefrieren des Wassers im Vakuum. Philosophical Transactions, Vol. XXXIII. London 1724, S. 83. Ostwalds, Klassiker, Nr. 57, S. 10.

[2]) Fahrenheit, Versuche über den Siedepunkt einiger Flüssigkeiten. Ebenda S. 2. Klassiker S. 4.

[3]) Fahrenheit, Beschreibung eines neuen Barometers. Ebenda S. 179. Klassiker S. 17.

Gelegentlich der Siedepunktsbestimmungen[1]) hatte Fahrenheit für nötig erachtet, auch das spezifische Gewicht der untersuchten Flüssigkeiten festzustellen, er dehnte diese Bestimmungen auch auf feste Körper aus, die er in gewohnter Weise erst in der Luft und dann im Wasser wog. Das Volumenaräometer, denen sich Boyle zur Bestimmung des spezifischen Gewichts von Münzen bediente und welches unten eine Klammer zu deren Befestigung trug[2]), verwarf er ebenso wie das von Cornelis Meyer angegebene[3]), bei welchem die Klammer durch ein Schälchen ersetzt worden war. Aber auch das Gewichtsaräometer, wie es de Roberval angegeben und Monconys verwendet hatte, erschien ihm fehlerhaft, da die auf den Schwimmer zu legenden Gewichte in das Wasser mit eintauchten und somit dessen Rauminhalt änderten. Deshalb gab er dem Gewichtsaräometer die jetzt noch gebräuchliche Form, eine gläserne Hohlkugel, die mit einer kleineren durch einen Glasrohrstiel verbunden ist und oben an einem Glasstiel ein gläsernes Schälchen trägt. Wird die kleine Kugel durch Schrot oder Quecksilber beschwert, so schwimmt das Instrument stets in aufrechter Stellung, und man hat nur zur Bestimmung des Gewichtes verschiedener Flüssigkeiten es in sie hineinzusetzen und immer so viel Gewichtsstückchen aufzulegen, daß es bis zu einer an dem Schalenträger angebrachten Marke eintaucht[4]).

Zu dem nämlichen Zweck hat Fahrenheit auch noch zwei andere Apparate angegeben, die wir nach jetzigem Sprachgebrauch als Pyknometer zu bezeichnen haben, wenn auch das konische Instrument Al Khâzinîs den Abendländern des 17. Jahrhunderts gewiß unbekannt war und schwerlich die obige Bezeichnung verdient, so kamen sie doch auf einen ähnlichen Gedanken, und derjenige, der zuerst ein solches Instrumentchen herstellte, war Wilhelm Homberg. Geboren 1652 in Batavia, hatte er in Deutschland Jurisprudenz studiert und war 1674 Advokat in Magdeburg geworden. Hier beschäftigte er

---

[1]) Fahrenheit, Versuche über den Siedepunkt einiger Flüssigkeiten. Ebenda S. 2. Klassiker S. 4.

[2]) Boyle, Philosophical Transactions 1675, Nr. 24, S. 447 (abridged Vol. I, S. 516).

[3]) Meyer, Nuovi ritrovamenti divise in due parti. Rom 1696. Vgl. Leupold, Theatrum universale, Pars II.

[4]) Fahrenheit, Beschreibung und Gebrauch eines neuen Aräometers. Philosophical Transactions. Vol. XXXIII 1724, S. 140. Ostwalds Klassiker Nr. 57, S. 15.

sich mit Unterstützung Otto von Guerickes mit Naturwissenschaften, die er dann und daneben auch Medizin in Italien studierte. Nach mannigfachen Reisen ließ er sich in Paris nieder, wo er nach nochmaligem mehrjährigen Aufenthalt in Rom Mitglied der Akademie wurde und 1715 starb. Seine zahlreichen Arbeiten galten chemischen Problemen, und wenn er auch gut zu beobachten verstand und eine Anzahl neuer Entdeckungen machte, so verstand er weniger gut, seine Beobachtungen zu deuten [1]). Auf physikalischem Gebiete fand er, daß die Glastränen im luftleeren Raum mit größerer Heftigkeit und in kleinere Teile zersprangen, als im lufterfüllten [2]), von größerer Bedeutung aber war die Herstellung des ersten Pyknometers [3]). Es bestand aus einem kleinen Glaskolben mit seitlich angesetztem, senkrechtem, kapillarem Rohre, das neben dem Hals ihm parallel angebracht war, aber nur dessen halbe Länge hatte. Das Pyknometer von Fahrenheit dagegen war ein Fläschchen mit eingeriebenem Stöpsel, beide Apparate ließen die Herstellung gleicher Rauminhalte von Flüssigkeit zu. Aber der Amsterdamer Glaskünstler hat noch ein zweites angegeben, ein halbkugelförmiges Glasgefäß, das bequem auf die Wage gelegt werden konnte und von dessen Boden zwei horizontale Röhrchen ausgingen, deren Enden in nach oben gebogene kapillare Spitzen ausliefen [4]). Ausgerüstet mit diesen Apparaten ist es ihm gelungen, sehr genaue spezifische Gewichtsbestimmungen auszuführen. So hat Fahrenheit in theoretischer Beziehung die Physik zwar nicht gefördert, aber er hat der Physik einen keineswegs geringeren Dienst geleistet, indem er ihre wichtigsten Meßapparate verbesserte und selbst Hand anlegte, die spezifischen Gewichte verschiedener Körper genauer als vorher zu bestimmen, wobei er auch den Einfluß der Temperatur berücksichtigte.

6. Newton und Leibniz.

a) Isaak Newton.

Die Arbeiten von Des Cartes und Huygens hatten die zu ihrer Zeit vorhandenen Hilfsmittel der mathematischen Behandlung

---

[1]) Kopp, Geschichte der Chemie, 1. Teil. Braunschweig 1843, S. 182.

[2]) Heller, Geschichte der Physik. II. Band. Stuttgart 1884, S. 365.

[3]) Homberg, Mémoires de l'Académie Royale 1699, S. 44.

[4]) Fahrenheit, Philosophical Transactions. 1724. Vol. XXXIII, Nr. 384, S. 140.

der physikalischen Probleme in einer Weise vermehrt, die ihre erfolgreiche Weiterführung zu ermöglichen schienen, Amontons und Fahrenheit hatten namentlich auf dem Gebiete der Wärmelehre Meßmethoden und Instrumente der Forschung zur Verfügung gestellt, deren Anwendung die früheren an Genauigkeit weit übertreffende Ergebnisse versprachen, die Gründung der Akademieen hatte zu physikalischen Untersuchungen größere Mittel verfügbar gemacht und hatte raschere Verbreitung der Errungenschaften wissenschaftlicher Arbeiten gesichert. Es galt nun, diese neuen Hilfsmittel zur Geltung zu bringen, und das unternahmen die beiden größten Genien, von welchen die Geschichte der Physik in der neueren Zeit zu berichten weiß, unternahmen Newton und Leibniz.

Isaac Newton ist am 5. Januar 1643 (25. Dezember 1642 alten Stils) in Wolsthorpe in Lincolnshire als Sohn des Besitzers eines Landgutes, der jedoch vor der Geburt seines Sohnes starb, geboren. Als er drei Jahre alt war, verheiratete sich seine Mutter wieder, während seine Großmutter seine Erziehung übernahm. Nach elfjähriger Ehe wurde seine Mutter wieder Witwe und nahm ihren nunmehr vierzehnjährigen Sohn wieder zu sich in der Hoffnung, daß er die Bewirtschaftung seines väterlichen Erbes mit der Zeit übernehmen würde. Aber die große Vorliebe, die der Knabe von frühester Jugend an für die Herstellung von Maschinenmodellen und sonstigen mechanischen Spielereien an den Tag gelegt hatte, überzeugte sie bald, daß dessen Neigungen ihn mehr zu einem gelehrten Berufe zogen und so schickte sie ihn 1660 auf das Trinity College in Cambridge, wo er sich an Isaac Barrow, der von Haus aus Theologe, die mathematischen Fächer lehrte, anschloß. Des Lehrers Einfluß wurde nicht nur in wissenschaftlicher Richtung bestimmend für den Schüler, auch seine streng kirchliche und politisch konservative Gesinnung übertrug er auf ihn, während dieser es an selbständigem Fleiße nicht fehlen ließ und für sich die mathematischen und optischen Wissenschaften mit solchem Eifer und Erfolg betrieb, daß als Barrow 1669 seine Professur niederlegte, um sich ausschließlich theologischen Arbeiten zu widmen, Newton, der unterdessen den Grad eines Magisters der freien Künste erlangt hatte, der Lehrstuhl für Mathematik übertragen wurde. Ihn hat er 26 Jahre innegehabt und in der Einsamkeit seines Lebens während dieser Zeit die Werke ausgearbeitet, die seinen Namen zu einem der berühmtesten aller Zeiten machen sollten. 1672 trugen sie ihm

einen Sitz in der Royal Society ein, welche ihn am 11. Januar dieses Jahres zu ihrem Mitglied erwählte [1]), dabei aber in Berücksichtigung seiner überaus geringen Einkünfte sich genötigt sah, ihm die wöchentlichen Beiträge zu erlassen. Aber auch in die politischen Wirren seines Landes wurde er hineingezogen, indem ihm 1688 die Universität Cambridge in jene von Wilhelm von Oranien einberufene Konvention entsandte, die dessen Regentschaft bestätigen sollte. In das diese ablösende Parlament trat er aber nicht ein, sorgte jedoch dafür, daß seinen Platz ein überzeugter Tory erhielt.

Trotzdem war es ein Führer der Whigs, der Kanzler der Schatzkammer, Montague, einer seiner früheren Schüler, der ihn 1696 zu der Stelle eines Aufsehers der Münze ersah. Er hoffte dadurch wohl einer Opposition der Torys gegen die notwendig gewordene Regelung der Münzverhältnisse des Königreichs vorzubeugen, indem er zugleich einen Mann mit der Lösung der schwierigen Aufgabe betraute, der vor anderen dazu geeignet erschien. Seine Professur behielt indessen Newton bis 1703 bei, lehrte aber nicht mehr, und als er 1699 zum Münzmeister mit einem Jahresgehalt von 1500 £ erhoben worden war, wurden auch seine Vermögensverhältnisse glänzende. Er wurde noch mehrmals als Vertreter seiner Universität in das Parlament gewählt, 1703 zum Vorsitzenden der Royal Society, welches Amt die alljährliche Wiederwahl ihm bis zu seinem Lebensende sicherte und 1705 von der Königin Anna in den Ritterstand erhoben. Er starb am 31. März neuen Stils 1727, nachdem er zwei Jahre vorher seinen Wohnsitz nach Kensington verlegt hatte. Sein Leichnam wurde unter großem Gepränge und unter Begleitung einer Anzahl hochgestellter Personen in der Westminsterabtei beigesetzt.

Diejenigen seiner Arbeiten, welche die großen Fortschritte in den Naturwissenschaften bedingten, hat Newton vor dem Jahre 1693 verfaßt; sie wurden einzeln oder im ganzen der Royal Society vorgelegt und dann zusammengefaßt veröffentlicht. So bilden sie den Inhalt der 1704 veröffentlichten Opticks und der bereits 1687 auf Kosten der Royal Society gedruckten Philosophiae naturalis principia mathematica, Werke, die bald mehrere Auflagen erlebten. Von seinen mathematischen Abhandlungen hat er selbst nur sehr wenig veröffentlicht,

[1]) Birch, The history of the Royal Society of London. London 1757, Vol. III, S. 1.

sie sind von anderen, die meisten erst nach seinem Tode, so namentlich von Castillion, herausgegeben [1]). Ebenso wie Newton nämlich eine unüberwindliche Scheu hatte, öffentlich zu reden, so entschloß er sich auch höchst ungern zur Mitteilung seiner Werke durch den Druck. Verstärkt wurde diese Abneigung durch den heftigen Widerspruch, den die meisten seiner Arbeiten bei ihrem Bekanntwerden hervorriefen, so die ganz ungerechtfertigten Einwände, die Pardies [2]) und Linus [3]) seiner Farbenlehre entgegenstellten, und namentlich durch die bereits geschilderte Kampfesweise Hookes dem damaligen Cambridger Professor große Unannehmlichkeiten bereiteten. Im Jahre 1693 erkrankte er nicht unbedenklich. „Es erzählte mir," schrieb [4]) darüber am 29. Mai 1694 Huygens in sein Tagebuch, „Hr. Colm aus Schottland, daß der sehr berühmte und tüchtige Mathematiker Js. Newton vor einem Jahre und sechs Monaten entweder infolge von Überarbeitung oder aus Gram über das Mißgeschick, daß er durch einen Brand sein chemisches Laboratorium und einige Schriften verloren hatte, in eine Geistesumnachtung verfallen sei. Als er zum Erzbischof von Canterbury gekommen sei, habe er Dinge geredet, die auf Geistesabwesenheit hätten schließen lassen. Darauf sei er durch die Vorsorge seiner Freunde zu Hause gehalten und, ob er wollte oder nicht, mit Heilmitteln behandelt worden, durch welche seine Gesundheit soweit wieder hergestellt wurde, daß er sein Buch über mathematische Prinzipien der Philosophie wieder zu verstehen anfing." Ob nun diese Erkrankung, ob die Amtsgeschäfte an der Münze, die er kurz nach seiner Genesung übernahm, Grund waren, sicher ist, daß seit jener Zeit Newton Arbeiten, die sich mit seinen früheren messen konnten, nicht mehr verfaßt hat.

---

[1]) Newtoni, Opuscula mathematica, philosophica et philologica 3. Vol. Lausannae et Genevae 1744.

[2]) Pardies, Philosophica Transactions 1672.

[3]) Linus, ebenda 1674.

[4]) Huygens, Oeuvres complètes Tome X. La Haye 1905, S. 616, Note 3, 29. Maj. 1694. Narravit mihi D. Colm, Scotus, virum celeberrimum ac summum geometram, Is. Neutonum in phrenesin incidisse ab hinc anno et 6 mensibus. an ex nimia studij assiduitate, an dolore infortunij quod incendio Laboratorium chymicum et scripta quaedam amiserat? Cum ad Archepiscopum Cantabrigiensem venisset, ea locutum quae alienationem mentis indicarent. Deinde ab amicis curam ejus susceptam domoque clauso remedia volenti nolenti adhibita, quibus jam sanitatem recuperavit, ut jam rursus librum suum Principiorum Philosophiae Mathematicorum intelligere incipiat.

Außer zweien theologischen Inhaltes ist eine dritte über Chronologie nur deshalb anzuführen, einmal, weil ihm deren indiskrete Veröffentlichung wider sein ausdrückliches Verbot viel Verdruß verursachte und sodann, weil es ihm stets sehr hoch angerechnet worden ist, daß er durch einen glücklichen Zufall aus der Annahme der Maße der Königskammer in der größten der Pyramiden die genaue Länge der ägyptischen königlichen Elle anzugeben vermochte[1]).

b) Newtons experimentelle Arbeiten auf optischem Gebiete und seine Ansichten vom Wesen des Lichtes.

Zu seinen frühesten Arbeiten wurde Newton durch Barrow angeregt. Die erste, die er 1672 drucken ließ, behandelte eine „neue Theorie des Lichtes und der Farben", einige weitere über den nämlichen Gegenstand übergab er drei Jahre später dem Sekretär der Royal Society, in deren Sitzungen sie verlesen wurden[2]). Der Öffentlichkeit übergeben wurden sie in Verbindung mit seinen weiteren Arbeiten über das Licht unter dem Titel der „Opticks" erst im Jahre 1704. Des Cartes hatte das Licht vom philosophischen Standpunkte aus behandelt, er hatte, was er darüber wußte und erforschte, aus den Voraussetzungen seines Systemes zu deuten versucht. Als Mathematiker war Huygens zu Werke gegangen, auf geometrischem Wege hatte er die Eigenschaften des Lichts aus der Annahme einer Wellenbewegung dargestellt. Newtons Methode war die des Physikers, er suchte sein Wesen auf experimentellem Wege zu ergründen, ohne irgend welche Voraussetzung zu machen. „Es ist nicht meine Absicht", beginnt er die Opticks[3]), „in diesem Buche die Eigenschaften des Lichtes durch Hypothesen zu erklären, sondern nur sie anzugeben und durch Rechnung und Experiment zu bestätigen." Aber so ganz voraussetzungslos ging er doch nicht an die Lösung dieser Aufgabe heran. Denn schon seine erste Definition beginnt[4]): „Unter Lichtstrahlen verstehe ich die kleinsten Teilchen des Lichtes, und zwar sowohl nacheinander in denselben Linien als gleichzeitig in verschiedenen."

[1]) Gerland in Hofmanns Bericht über die internationale Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London im Jahre 1876, Teil I. Braunschweig 1878, S. 4.

[2]) Newton, Opticks, 2. Edition. London 1718. Advertisement I.

[3]) Ebenda 1. Buch, 1. Teil, S. 1. Wie das Folgende nach der Übersetzung Abendroths in Ostwalds, Klassiker usw., Nr. 96. Leipzig 1898, S. 5.

[4]) Ebenda 1. Buch, 1. Teil, Defin. 1, S. 2. Klassiker Nr. 96, S. 5.

Besonders schien die Erklärung der Farben einer mehr eingehenden Arbeit bedürftig, als ihr bisher zuteil geworden war. Huygens hatte sich gar nicht darüber ausgesprochen, obwohl er die farbige Abweichung der Linsen wohl berücksichtigte [1]), Boyle hatte sie aus der Beschaffenheit der Oberflächen der farbigen Körper zu erklären gesucht, Des Cartes wiederum sah in der verschiedenen Rotationsgeschwindigkeit der von ihm angenommenen Lichtteilchen ihr Wesen, Grimaldi [2]) war nur zu dem Schlusse gekommen: „Die Farben sind nicht etwas außerhalb des Lichtes Vorhandenes oder tatsächlich seinem Wesen nach von ihm Verschiedenes", und nur der Prager Professor der Medizin Marcus Marci, dessen Arbeiten Newton aber schwerlich gekannt hat, kann insofern als dessen Vorgänger angesehen werden, als ihn Versuche mit dem Prisma im verdunkelten Zimmer lehrten, daß ein das Prisma verlassender farbiger Strahl auch bei weiterer Brechung seine Farbe nicht mehr ändert [3]).

Des Cartes hatte bei seinen Versuchen mit dem Prisma die Strahlen senkrecht auffallen lassen, also nur eine einmalige Brechung benutzt. Newton ließ sie durch zwei, den „brechenden Winkel", wie er ihn nannte, einschließende Flächen gehen und erhält so viel größere Ablenkungen. Meist benutzte er Prismen aus massivem Glas, wendete auch wohl mit Wasser oder Bleizuckerlösung gefüllte gläserne Hohlprismen an. Die Sonnenstrahlen ließ er durch eine runde oder spaltförmige Öffnung in das verdunkelte Zimmer fallen. „Übrigens," sagt er [4]), „verursachte weder die verschiedene Größe der Öffnung im Fensterladen, noch die verschiedene Dicke des Prismas an der Stelle, wo die Strahlen hindurchgingen noch auch eine verschiedene Neigung des Prismas gegen den Horizont merkliche Änderungen in der Länge des Bildes. Ebensowenig die verschiedene Substanz, aus der das Prisma bestand; denn in einem Gefäße aus geschliffenen, in Gestalt eines Prismas zusammengekitteten Glasplatten, welches mit Wasser gefüllt wurde, trat derselbe Erfolg des Experimentes hinsichtlich der Stärke der Brechung

[1]) Hugenii, Opuscula posthuma, Tom. I. Amstelodami 1728. Dioptrica S. 156. Die Huygenssche Dioptrik war 1703 zuerst erschienen.

[2]) Grimaldi, Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride. Bononiae 1665. Non sunt aliquid extra lumen, seu realiter distinctum a luminis entitate. Vgl. Wilde, Geschichte der Optik. Berlin 1838, Teil I, S. 328.

[3]) Marci, Traumantias. Pragae 1648, S. 100.

[4]) Newton, Opticks. S. 25. Klassiker, S. 21.

ein." Ergibt sich aus dieser Bemerkung der Grad der Genauigkeit der Beobachtungen, mit welcher sich Newton begnügte, so sollte ihm der Umstand, daß er die Abhängigkeit des Brechungsvermögens der Stoffe von ihrer Natur übersah, bei seinen weiteren Untersuchungen verhängnisvoll werden.

Bei seinen mit einer Vollständigkeit angestellten Versuchen, die an Baco von Verulams Vorschriften erinnert, überzeugte sich Newton zunächst an Pigmentfarben von der verschiedenen Brechbarkeit der roten und blauen Farbe, wobei es ihm freilich nicht entging, daß diesen Farben auch noch solche anderer Brechbarkeit beigemischt waren. Als er dann mit Hilfe des Prismas ein Spektrum entwarf und das Prisma hin und her um seine den Seitenlinien parallele Achse drehte, beobachtete er, daß einer seiner Stellungen eine geringste Ablenkung des Spektrums entsprach und benutzte diese ausschließlich bei seinen folgenden Versuchen. Die Anwendung zweier gekreuzter Prismen bewies ihm, daß durch die Brechung die Brechbarkeit der einfarbigen Strahlen nicht geändert werde, und daß, wovon ihn vielfache Abänderungen des Versuches überzeugten, das einfarbige Licht wohl noch brechbar, aber nicht mehr zerlegbar sei. Endgültig schien ihm das durch einen Versuch dargetan, bei dem er zwischen zwei Prismen mit gleich gerichteten brechenden Winkeln zwei mit je einer kleinen Öffnung versehene Brettchen setzte, sodann mittels des ersten Prismas auf das erste Brettchen ein Spektrum entwarf, durch dessen Öffnung einen Strahl bestimmter Farbe ausschied und diesen durch die Öffnung im zweiten Brettchen auf das zweite Prisma fallen ließ, das ihn dann auf einen dahinter aufgestellten Schirm ablenkte. Trotzdem die unveränderte Lage der Öffnungen der Brettchen genau gleichen Eintritt des Lichtstrahls sicherte, so wurde doch, wenn er das erste Prisma um seine Achse drehte, der das zweite Prisma durchlaufende Strahl je nach seiner Farbe mehr oder weniger abgelenkt, und da Newton diesem Versuch bei seinen ersten Veröffentlichungen in den Transactions eine besondere Beweiskraft zuschrieb, so nannte er ihn den entscheidenden Versuch am Kreuzweg, das sprichwörtlich gewordene Experimentum crucis, ließ aber den Namen wieder fallen, nachdem es sich überzeugt hatte, daß ihm durchaus keine größere Beweiskraft zukomme, wie seinen andern Versuchen auch. Eine vor das Prisma gesetzte Linse lieferte ihm ein reineres Spektrum. Da er aber, um es zu entwerfen, einen Spalt von der Gestalt eines gleichseitigen Dreiecks mit kleiner Basis anwendete, so konnte er die

Fraunhoferschen Linien nicht erhalten, wohl aber ein nach der Seite der Spitze des Dreiecks zu sehr glänzendes Spektrum. Aus allen diesen Versuchen mußte er schließen, daß das weiße Licht aus den sämtlichen farbigen Strahlen, in die es das Prisma zerlegte, zusammengesetzt sei. Faßte man sie demnach durch Prismen, die in ihren Gang mit entgegengesetzt gerichtetem brechenden Winkel aufgestellt waren, zusammen oder vereinigte man sie mit Hilfe einer Sammellinse, so mußten sie wieder Weiß geben, wovon sich Newton in der Tat durch den Versuch überzeugte. Weiter entwarf er ein Spektrum auf geteiltes Papier, trug seine Länge auf der Verlängerung seiner Grenzlinie noch einmal ab und erhielt, wenn er die Abstände der Farbengrenzen von dem so gefundenem Punkte bestimmte, Zahlen, die im Verhältnis der den reinen Intervallen innerhalb einer Oktave entsprechenden Saitenlängen standen. Indem er das Verhältnis der Zwischenräume zwischen den Brechungsdifferenzen der bis zu diesen Farbengrenzen gehenden Strahlen den Brechungssinus dieser Strahlen merklich gleich setzte, bestimmte er die Brechbarkeit der einzelnen Farben. Da es nun sieben solcher Intervalle gibt, so glaubte Newton auch sieben Farben im Spektrum unterscheiden zu müssen, zu welchem Zwecke er neben dem Blau noch Indigo als besondere Farbe annahm. Hierauf gründete er sodann ein Verfahren, welches die sich aus der Vereinigung verschiedener Farben mittels einer Linse ergebende Mischfarbe bestimmen ließ. Er teilte einen Kreis in sieben Bögen von der Breite, die den einzelnen Farben im Spektrum zukommt und bestimmte deren Schwerpunkte. Um diese beschrieb er dann Kreise, proportional der Anzahl der Strahlen jeder Farbe in der gegebenen Mischung, suchte dann den Schwerpunkt dieser Kreise und verband ihn mit dem Mittelpunkte des ursprünglichen Kreises. Die Stelle, wo diese Linse die Peripherie des Kreises schneidet, gibt dann unter der Voraussetzung, daß die einzelnen Farben nach und nach ineinander übergehen, die gesuchte Farbe. Für mathematisch genau hält Newton dies Verfahren freilich nicht, hält es aber für die Praxis als ausreichend.

Die Auffindung der kleinsten Ablenkung der Strahlen jeder Farbe im Prisma gestattete ihm auch eine zutreffendere und vollständigere Erklärung der Entstehung der Farben des Regenbogens in den kugelförmigen Wassertropfen zu geben, als es DesCartes möglich gewesen war, und die Winkelwerte, unter denen Haupt- und Nebenregenbogen erscheinen, zu berechnen. Es ist die nämliche Erklärung, die wir

in unseren Lehrbüchern noch finden, und die spätere Zeit hat nur noch die Erklärung der öfters sichtbaren Wiederholung der Farben auf der innern Seite des Hauptregenbogens zuzufügen gehabt[1]), zu der die Voraussetzungen der Undulationstheorie nötig waren. Vollständig gelang ihm dagegen die Erklärung der Körperfarben aus einer auswählenden Reflexion verbunden mit Absorption der nicht reflektierten Strahlen des Sonnenlichtes. Diese Absorption wies er, wie dies heute noch geschieht, mit Hilfe einer Tafel Blattgoldes nach, welches den gelben Teil des weißen Lichtes reflektiert, den komplementären grünlichblauen dagegen durchläßt.

Als dann Newton gelegentlich seiner Versuche zwei Prismen mit zwei Flächen, die zufällig etwas konvex waren, aneinander preßte, beobachtete er im auffallenden Lichte das Auftreten eines dunkeln durchsichtigen Fleckes, den farbige Streifen umgaben, während im durchgehenden Licht der zentrale Fleck weiß wurde, während die Farben in entgegengesetzter Reihenfolge auftraten. Die Streifen wurden regelmäßige Kreise, als er die ebene Fläche einer plankonvexen Linse auf die schwach konvexe des Objektivs eines 50 füßigen Fernrohres legte. Zur Erzeugung der nach ihm genannten Ringe versäumte er nicht, auch einfarbiges Licht zu verwenden, und fand dabei, daß die Ringe einfarbig, aber deutlicher und in größerer Anzahl sichtbar wurden. Seine genauen Messungen ergaben, daß sich die Dicken der Luftschichten, in welchen sie auftraten, wie die Kubikwurzeln aus den Saitenlängen der acht Töne einer Oktave verhielten. Da demnach die prismatische Farbe ohne irgendeine Änderung durchgelassen wurde, so sah er den Ursprung dieser Ringe darin[2]), „daß nämlich die Luft zwischen den Gläsern je nach ihrer verschiedenen Dicke geneigt ist, das Licht irgend einer Farbe an einige Stellen zu reflektieren, an andern durchzulassen und an derselben Stelle das Licht der einen Farbe zu reflektieren, während sie das einer anderen Farbe durchläßt". Als er den Raum zwischen den Gläsern mit Wasser füllte, traten ebenfalls die farbigen Ringe auf, doch so, daß die Zwischenräume, die sie hervorbrachten sich zu denen in der Luft, wie 3 : 4 verhielten. Die Farben der Seifenblasen, sowie die anderer dünner Blätt-

[1]) Pernter, Ein Versuch, der richtigen Theorie des Regenbogens Eingang in die Mittelschulen zu verschaffen. 2. Aufl. Zeitschrift für die österreichischen Gymnasien 1898. Wien 1900.

[2]) Newton, Opticks. II. Book. Part. I. Obs. 15, S. 156. Klassiker Nr. 97, S. 16.

chen von größerer Dichtigkeit im weniger dichten Mittel erklärte er auf die nämliche Weise; sie waren glänzender und führten ihn auf die Einteilung dieser Farben in verschiedenen Ordnungen.

Ähnliche Farbenstreifen fand Newton, als er die von Grimaldi und Hooke gemachte Beobachtung, daß der Schatten eines Körpers, den ein durch eine kleine Öffnung in ein verdunkeltes Zimmer fallendes Lichtbündel entwirft, größer ist, als er der geometrischen Konstruktion nach sein sollte, nachprüfte. Er verfolgte auch diese Erscheinung im einfarbigen Lichte und fand sie bei dem Schatten eines dünnen Haares ebenso gut, wie an der Schneide eines Messers oder an den Rändern eines Spaltes, der durch die Schneiden zweier parallel gestellter Messer gebildet worden war. Es entging ihm aber, daß solche Streifen auch im Schatten eines dicken Körpers auftreten können, und so glaubte er auch diese Streifen als Bestätigung seiner Ansicht vom Wesen des Lichtes ansehen zu dürfen.

Freilich erforderte seine Erklärung der Farbenringe eine Präzisierung seiner an den Anfang der Opticks gestellten Definition. Er gab sie mit folgenden Worten[1]: „Die periodisch wiederkehrende Disposition eines Strahles, reflektiert zu werden, will ich Anwandlung leichter Reflexion nennen, die wiederholt eintretende Disposition, durchgelassen zu werden, Anwandlung leichten Durchganges." Da er nun aber unter den Lichtstrahlen die kleinsten Teilchen des Lichtes verstanden wissen will, so wird man diesen die Anwandlungen zuschreiben müssen. Schließt sich nun die Annahme der Lichtteilchen der von Des Cartes gemachten an, so erinnert das Wort »fit«, welches meist mit „Anwandlung" übersetzt wird, aber auch „Laune" heißen kann, in recht bedenklicher Weise an den „Abscheu" der Luft vor dem leeren Raum, wie ihn die Scholastiker annahmen. Aber er sieht sich sogleich zu einer weiteren Annahme genötigt. Da es ihm nicht entgeht, daß das Licht von einer glatt geschliffenen Fläche ebenso reflektiert werden müßte, wie von einer rauhen, wenn die Reflexion lediglich durch sein Auftreffen auf die einzelnen Punkte des reflektierenden Körpers erfolgte, so legt er dem auf den Strahl wirkenden Körper eine über seine ganze Oberfläche verbreitete Kraft bei, mittels welcher er ohne unmittelbare Berührung bereits auf den Strahl einwirken soll. Die Wirkung der Oberflächen

[1]) Opticks. Book II, Part III, Definition S. 256. Klassiker Nr. 97, S. 63.

sieht er in einer besondern Kraft. „Die Körper reflektieren," sagt er[1]), „und brechen das Licht durch eine und dieselbe Kraft, die unter verschiedenen Umständen in verschiedener Weise in Tätigkeit tritt." Denn[2]) „solche Oberflächen durchsichtiger Körper, die den Strahl am kräftigsten brechen, wenn er in einer Anwandlung leichter Brechung ist, reflektieren ihn am leichtesten, wenn er in einer Anwandlung der Reflexion ist".

So trägt Newtons Annahme alle Anzeichen einer unbrauchbaren Hypothese, jede neue Tatsache, der er Beachtung widmet, erfordert eine neue Annahme. Das trat aber noch mehr hervor, als er es unternahm, die Beugung und die Doppelbrechung im Kalkspat zu erklären. Das tut er nun freilich nur in einem Anhang zum dritten Buch der Opticks, in deren Bearbeitung er unterbrochen wurde und an deren Fortsetzung er dann nicht mehr denken konnte. So mußte er die Opticks unvollendet lassen, versäumte aber nicht[3]), „einige Fragen vorzulegen, damit andere den Gegenstand weiter untersuchen mögen". Er begnügt sich nur, einige Fingerzeige zu geben, die seine Ansicht gleichwohl aussprechen.

Zur Erklärung der Beugung ruft er wiederum die Wirkung der Körper auf das Licht zu Hilfe: „Fangen nicht," fragt er[4]), „die Lichtstrahlen, welche auf die Körper fallen und reflektiert oder gebrochen werden, schon vor ihrem Auftreffen an, gebeugt zu werden, und erfolgt nicht die Reflexion und die Beugung durch eine und dieselbe Kraft, die nur unter verschiedenen Umständen sich verschieden äußert." Gewiß recht verschieden, denn sie mußte bald abstoßend, bald anziehend wirken. Wie dies möglich sein sollte, darauf ist Newton die Antwort schuldig geblieben oder vielmehr, er hat sie gar nicht geben wollen. Denn bereits bei Gelegenheit der Annahme der Anwandlungen schrieb er[5]): „Ich untersuche hier nicht, worin dieses Verhalten oder diese Disposition (die Anwandlung) besteht, ob in einer kreisförmigen oder schwingenden Bewegung des Strahles oder des Mediums oder worin sonst." Man mag sie sich als eine Wellenbewegung, wie die durch einen Stein erregte, denken, ihre Fortpflanzung sich so vorstellen, wie die der Schallschwin-

[1]) Ebenda Book II, Part III, Prop. IX, S. 244. Klassiker Nr. 97, S. 55.
[2]) Ebenda Prop. XIV, S. 257. Klassiker Nr. 97, S. 64.
[3]) Ebenda Book III, Part I, S. 313. Klassiker Nr. 97, S. 100.
[4]) Ebenda Book III, Part I, Query 4, S. 313. Klassiker Nr. 97, S. 100.
[5]) Ebenda Book II, Part III, Prop. XII, S. 255. Klassiker Nr. 97, S. 62.

gungen, mag annehmen, „daß, wenn ein Strahl sich in dem Teile der Schwingung befindet, der mit seiner eigenen Bewegung übereinstimmt, er leicht durch eine Fläche hindurchgeht, wenn er aber in dem entgegengesetzten Teile der Schwingung war, die seine Bewegung hindert, leicht reflektiert wird."

Solcher Ausdrucksweise Newtons gegenüber ist nicht leicht, seine wahre Meinung zu erkennen. Poggendorff[1]) legt sie dahin aus, daß der Cambridger Professor zur Undulationshypothese hingeneigt, der Kgl. Münzmeister diese Ideen aber noch nicht überwunden gehabt habe, während Rosenberger[2]) sie für eine Bestätigung von Newtons Abneigung, sich auf eine Hypothese festzulegen, der vielmehr die Annahme solcher völlig frei zu lassen wünschte, hält. Liest man dann aber dessen Zurückweisung der Wellentheorie von Huygens[3]), welche das Dasein der Anwandlungen nicht erklären könne, und dann die unzweideutige Erklärung[4]), die er noch 1718 beibehielt, daß, um alle Verschiedenheiten in den Farben und den Graden der Brechbarkeit zu erklären, man nur anzunehmen habe, die Lichtstrahlen beständen aus Körperchen verschiedener Größe, die kleinsten erzeugten das Violett, die immer größer werdenden die übrigen Farben, dann kann man doch nicht zweifeln, daß Newton die Lichtstrahlen in der Tat für Korpuskeln hielt. So nahm er auch die Huygenssche Konstruktion der beiden Strahlen im Kalkspat nicht an, sondern ersetzte sie dadurch eine andere, die freilich den Tatbestand nicht genau wiedergibt. Auch aus ihr glaubt er das Vorhandensein von Lichtteilchen schließen zu müssen. Während er aber früher die Ansicht ausgesprochen hatte, daß ihnen ihre Anwandlungen bereits wohl vom leuchtenden Körper erteilt würden[5]), fügt er jetzt die neue hinzu, daß die Lichtteilchen[6]), „da wo sie auftreffen, durch ihre anziehenden oder durch sonstige Kräfte Schwingungen erregen, welche schneller fortschreiten als die Strahlen, sie allmählich überholen und sie zu größerer oder geringerer Geschwindigkeit antreiben und sie

---

[1]) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 689.

[2]) Rosenberger, Isaac Newton und seine physikalischen Prinzipien. Leipzig 1895, S. 321.

[3]) Newton, Opticks. 2. Ed. London 1718, Book III, Part I, Query 28, S. 336. Klassiker Nr. 97, S. 115.

[4]) Ebenda S. 345. Klassiker Nr. 97, S. 123.

[5]) Opticks. Book II, Part III, Prop. XIII, S. 257. Klassiker Nr. 97, S. 64.

[6]) Opticks. Book III, Part I, Query 29, S. 345. Klassiker Nr. 97, S. 123.

dadurch in jene Anwandlungen versetzen." Zur Erklärung aber müsse man, meint er [1]), „an jedem Lichtstrahl vier Seiten oder vier Viertel unterscheiden, von denen zwei einander gegenüberliegende den Strahl befähigen, ungewöhnlich gebrochen zu werden, sobald eine von ihnen gegen die Seite der ungewöhnlichen Brechung gekehrt ist, die beiden anderen bei derselben Lage ihm keine andere als die gewöhnliche Brechung gestatten." Die den Strahlen innewohnende und von dem Kristall auf sie ausgeübte Kraft entsprechen einander, wie die Pole zweier Magnete. Doch will Newton nicht damit behaupten, daß diese Kraft eine magnetische sei, er hält sie für anders geartet. Doch schließt er seine Betrachtung mit den Worten [2]): „Ich sage nur, was sie auch sein mag, daß es schwer zu begreifen ist, wie die Lichtstrahlen, wenn sie nicht aus Körperchen bestehen sollen, nach zwei Seiten hin eine dauernde Kraft besitzen können, die sie nach den andern Seiten hin nicht haben."

So hat Newton sich alle Mühe gegeben, den Standpunkt vorurteilsfreien Forschens beizubehalten. Gelungen ist es ihm freilich nicht, und man kann es seinen Schülern und Nachfolgern nicht zum Vorwurf machen, wenn diese die Folgerungen, die der Meister nur bedingt aufgestellt oder angedeutet hatte, mit aller Schärfe zogen und ihn so zum Schöpfer der Lehre vom Licht machten, die während des 18. Jahrhunderts die allein herrschende gewesen ist.

c) Newton und das Spiegelteleskop.

Die unrichtige Annahme Newtons, daß das Brechungs- und Zerstreuungsvermögen verschiedener Stoffe das nämliche sei, ließ ihn an der Möglichkeit achromatischer Prismen und Linsen verzweifeln. Wegen der bei Anwendung der letzteren unvermeidlichen Farbenränder verwarf er deren Anwendung für astronomische Beobachtungen und glaubte für solche Zwecke nur ein Spiegelteleskop verwenden zu können. Auf die Erfindung dieses Apparates machte er keinen Anspruch, war er doch auch lange vor seiner Zeit zuerst angegeben worden. Trotzdem erregte der von ihm konstruierte Reflektor großes Aufsehen und hauptsächlich seiner Anfertigung verdankte Newton seine Wahl in die Royal Society. Das von ihm eingesandte Fernrohr wurde von Moray, Neile, Wren und Hooke geprüft „und

[1]) Opticks. Book III, Part I, Query 26, S. 335. Klassiker Nr. 97, S. 114.
[2]) Ebenda Query 29, S. 348. Klassiker Nr. 97, S. 124.

sie erhielten eine so gute Meinung davon, daß sie beschlossen, seine Beschreibung und Zeichnung durch den Sekretär in einem Brief an Hrn. Huygens in Paris zu senden [1])." Dieser beurteilte es ebenso günstig. Er schickte die Zeichnung an den Herausgeber des Journal des Sçavans mit einem Schreiben, worin er über die neue Erfindung sagt [2]): „Obwohl ich ihre Wirkung noch nicht gesehen habe, so glaube ich doch sagen zu können, daß sie schön und ingenieus ist, und daß sie sich bewähren wird, vorausgesetzt, daß man einen Stoff für die Hohlspiegel findet, welcher eine so lebhafte und gleichmäßige Politur annehmen kann, wie das Glas; woran ich nicht verzweifle." Das Fernrohr, welches Newton damals der Royal Society übergab, ist noch in London vorhanden [3]).

Denselben Plan, den Newton zur Verbesserung des astronomischen Fernrohrs verfolgte, das Objektiv durch einen Hohlspiegel zu ersetzen, hatte bereits 1616 der römische Professor Nikolaus Zucchi von der Gesellschaft Jesu (1584—1670) hinsichtlich des Galileischen Fernrohres gefaßt, und war so der Erfinder des Spiegelteleskopes geworden. Beschrieben hat er es freilich erst 1652, doch scheint seine Schrift [4]) nur wenig bekannt und bald vergessen worden zu sein, da Huygens sie später nicht mehr erwähnt, obschon er zur Zeit ihres Erscheinens darauf aufmerksam gemacht worden war. Während aber Zucchis Fernrohr nur aus dem Spiegel und einer Zerstreuungslinse bestand, also der Kopf des Beobachters den größten Teil des Spiegels verdeckte, so hatte Newton diesem Übelstand abgeholfen, indem er das Bild des Hohlspiegels mittels eines kleinen Planspiegels oder was er später als zuverlässiger fand, eines total reflektierenden Prismas an der Seite des Fernrohres entwarf, wo das Okular angebracht worden war. Den

---

[1]) Birch, The history of the Royal Society of London, Vol. III. London. 1757, S. 1. And they had so good opinion of it, as they concluded, that a description and scheme of it should be sent by the secretary in a letter to Mons. Huygens then at Paris.

[2]) Huygens, Oeuvres complètes, Tom. VII. La Haye 1897, S. 134. Journal des Sçavans vom 29. Febr. 1672: Quoy que je n'en aye pas encore vû l'effet, je crois pouvoir dire qu'elle est belle & ingenieuse, & qu'elle reussira, pourveu qu'on puisse trouver de la matiere pour les miroirs concaves, qui soit capable d'un poli vif & uni, comme celuy du verre; dequoy je ne desespere pas.

[3]) Gerland in Hofmanns Bericht über die internationale Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London im Jahre 1876, Bd. I. Braunschweig 1878, S. 49.

[4]) Zucchi, Optica Philosophia experimentis et ratione fundamentis constituta. Pars I. Lugduni 1652.

andern freilich hatte er nicht vermeiden können, daß der Beobachter nicht in der Richtung nach dem aufzusuchenden Sterne in das Fernrohr blickte, aber daß dem leicht durch einen aufzusetzenden kleinen Refraktor, den ein Gehilfe stets auf den Stern einzustellen hatte, abzuhelfen sei, hatte schon Huygens betont. Trotzdem dieser Übelstand, der den 1663 von dem Professor der Physik zu St. Andrews in Schottland James Gregory [1]) (1638—1675) und 1672 von dem Professor der Physik am Kollegium zu Chartres Cassegrain [2]) angegebenen Spiegelteleskopen nicht anhaftete, so beurteilte sie Huygens viel weniger günstig. „Anstatt des kleinen ebenen Spiegels, dessen sich Herr Newton bedient," sagt er [3]), „befindet sich ein konkaver im Fernrohr des Herrn Gregory, ein konvexer in dem des Herrn Cassegrain: Aber der ebene Spiegel ist hier dem konkaven und konvexen vorzuziehen, sowohl weil es schwer ist, diese richtig einzustellen, als auch weil sie eine parabolische oder elliptische Form haben müssen." Diese Schwierigkeit hielt in der Tat Gregory von der Ausführung seines Fernrohres ab, so daß Newton mit seinem viel eher zustande kam. Erst als sich Newtons Fernrohr bewährt hatte, versuchte es Hooke, statt des parabolischen einen sphärischen Spiegel zu nehmen und brachte so ein Fernrohr zustande, dessen Brauchbarkeit die vielen noch erhaltenen Exemplare davon, die freilich meist nur kleine Abmessungen besitzen, beweisen [4]).

Auf dieselbe Weise, wie er sein Fernrohr erhalten hatte, suchte dann Newton ein Mikroskop herzustellen, dessen Zeichnung er 1672 an Oldenburg sandte und das natürlich nur eines Hohlspiegels bedurfte. Um die Schärfe seiner Bilder zu erhöhen, schlug er vor, den Gegenstand mit einfachem Lichte zu beleuchten [5]). Es ist das der Apparat,

---

[1]) Gregory, Optica promota. Londini 1663, S. 92 ff.

[2]) Denis, Recueil des Mémoires et Conférences sur les Arts et les Sciences. Présentées à Monseigneur le Dauphin Pendant l'Année 1672 (Journal des Sçavans 1674).

[3]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VII, S. 191. Au lieu du petit miroir plat dont se sert M. Newton, il y en a un concave dans la Lunette de M. Gregory, & une convexe dans celle de M. Cassegrain: Mais le miroir plat est icy préferable au concave et au convexe, tant parce qu'ils sont difficiles à bien placer, que parce qu'ils doivent estre de figure parabolique ou elliptique.

[4]) Wilde, Geschichte der Optik, 1. Teil. Berlin 1838, S. 312.

[5]) Brewster, Sir Isaac Newtons Leben. Übersetzt von Goldberg. Berlin 1833, S. 261.

den der Florentiner Professor Amici (geb. 1786) 1821 zu vervollkommnen suchte, ohne ihn jedoch zu allgemeinerer Verwendung bringen zu können [1]). Die Verbindung eines festen und eines drehbaren Planspiegels mit einem Fernrohr wollte Newton dann zur Bestimmung von Monddistanzen benutzen und gab so den Plan zum Spiegelsextant an, den 1731 Hadley (gest. 1744) zuerst ausführte [2]). Allen nimmt ihn für einen Glaser in Philadelphia, Godfrey (gest. 1749) in Anspruch [3]). Da Newton seine Idee 1700 Hadley mitteilte, aus dessen nachgelassenen Papieren sie aber erst 1742 veröffentlicht wurde [4]), auch die Anordnung der Spiegel des Newtonschen Apparates eine von der von Hadley angewendeten verschiedene war, so ist kein Grund anzunehmen, daß dieser die Idee seines großen Landsmannes verwendete.

Nachdem Newton sein Fernrohr der Royal Society mitgeteilt hatte, sprachen mehrere ihrer Mitglieder den Wunsch aus, ein größeres Instrument dieser Art herstellen zu lassen, und so gab er ihnen einige Winke bezüglich des zu den Spiegeln zu verwendenden Metalles, die freilich nicht genau erkennen lassen, welchen Metalles er sich dazu bediente. „Zinn," schreibt er am 18. Januar 1671/2 an Oldenburg [5]), „mit gewöhnlichem Glockenmetall vermischt, macht dies weißer und befähigt es, eine größere Lichtmenge zurückzustrahlen; zugleich aber bilden seine beim Schmelzen aufsteigenden Dämpfe, wie ebensoviele kleine Luftblasen eine Menge mikroskopischer Poren: aber weißer Arsenik macht das Metall nicht nur weiß, er läßt er auch dicht ohne Poren, besonders, wenn die Schmelzung nicht zu heftig vor sich gegangen ist." Auch mit einer Eisenschmelze hat Newton Versuche angestellt, da er aber in der Optik nur von kupfernen Spiegeln redet, so hat er wohl nur solche, die mit Arsenik weiß gefärbt waren, benutzt. War doch diese

---

[1]) Amici, Ann. de Chimie et de Physique 1821, Bd. XVII.

[2]) Hadley, Philosophical Transactions 1731, Vol. 37, S. 147.

[3]) Allen, An American Bibliographical and Historical Dictionary. Boston 1832. Vgl. Poggendorff, Bibliogr.-literar. Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften. Leipzig 1863, Bd. I, S. 920.

[4]) Philosophical Transactions für 1742. Vol. 48, S. 155.

[5]) Birch, The history of the Royal Society of London, Vol. III. London 1775, S. 5. Thus thin-glass, mixt with ordinary bell metall makes it more white and apt to reflect a greater quantity of light; but withal its fumes raised in the fusion like so many aerial bubbles fill the metall full of those microscopical pores: but white arsenic both blanches the metal and leaves it solid without any such pores, especially if the fusion hath not been too violent.

Eigenschaft des giftigen Körpers bereits seit dem Anfange des 7. Jahrhunderts n. Chr. bekannt, aus welcher Zeit deren erste Erwähnung durch den Alexandriner Stephanos Alexandrinos stammt [1]).

Genauer unterrichtet hat uns Newton über die Art, wie er seinen Spiegeln die richtige Form gab und sie polierte. „Ich nahm," lesen wir in den Opticks[2]", „zwei runde Kupferplatten, jede von 6 Zoll Durchmesser, eine konvexe und eine konkave, die sehr genau aufeinander paßten. Auf der konvexen rieb ich das konkave oder Objektivmetall, welches geschliffen werden sollte, so lange bis es die Gestalt der konvexen hatte und zur Politur fertig war." Diese erzielte er dann so, daß er zunächst auf die konvexe Platte eine dünne Pechschicht brachte und diese durch Aufreiben mit der konkaven möglichst gleichmäßig verteilte. Auf ihr bereitete er dann durch dasselbe Verfahren geschlämmte Zinnasche aus, welche als Poliermittel diente. Auch hielt er es für zweckmäßig, Glasspiegel mit amalgamierter konvexer Seite zu verwenden, mußte aber davon abstehen, weil er ihnen nicht eine genügend genaue Form zu geben vermochte, kam jedoch zu der Überzeugung, daß ein geschickter Künstler auf solche Weise Spiegel würde herstellen können. Da nun alles davon abhängen mußte, daß die beiden Kupferplatten genau kugelförmig waren, Newton aber völlig über die Art schweigt, wie er die konvexe Platte erhielt, so kann man es Huygens, der in der Kunst, große Linsen zu schleifen, wie damals wohl kein Zweiter erfahren war, nicht verdenken, wenn er an der Güte der so erhaltenen Spiegel zweifelte. „Wenn Herr Newton," sagt er [3]), „nicht bereits einen Weg gefunden hat, es besser zu machen, wie es gewöhnlich geschieht, so fürchte ich, daß sein Fernrohr die Gegenstände nicht so gut wird unterscheiden lassen, als solche mit Gläsern gestatten." Daß hier Huygens wohl hauptsächlich die Art der Herstellung der Spiegel im Auge hatte, übersah Newton, als er am 3. Juli 1673 an Oldenburg schrieb [4]): „Herr Huygens hat es für angezeigt gehalten, zu be-

---

[1]) Kopp, Geschichte der Chemie, 4. Teil. Braunschweig 1847, S. 94.

[2]) Newton, Opticks. Book I, Part I, Exper. 16, S. 91. Klassiker Nr. 96, S. 69.

[3]) Huygens, Philosophical Transactions 1672, Nr. 81, S. 4008. Die Übersetzung nach Gerland und Traumüller. Geschichte der Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 288.

[4]) Huygens, Oeuvres complètes, Tome VII. La Haye 1897, S. 332. M. Hugens has thought fit to insinuate, that ye aberration of rays (by their diffe-

merken, daß die Aberration der Strahlen (infolge ihrer verschiedenen Brechbarkeit) kein so großer Übelstand bei Glaslinsen sei, wie ich glaubte annehmen zu sollen, als ich Hohlspiegel als das einzige Mittel zur Verbesserung der Teleskope vorschlug. Aber wenn er die Feder zur Hand nehmen und die Fehler einer Glaslinse und eines Spiegels berechnen will, welche die Strahlen in dem nämlichen Abstand vereinigen, so wird er finden, wie sehr er irrt, und daß ich nicht, wie er meint, übertrieben habe, als ich die Reflexion vorzog; was er dann hinsichtlich der Schwierigkeit ihrer Herstellung sagt, so weiß ich wohl, daß diese groß ist und bei der von ihm angewandten Methode, halte ich solche für unausführbar. Aber es ist nicht unwahrscheinlich, daß ich auf dem in den Transactious S. 3080 angegebene Wege mit den kurzen Fernrohren dasselbe, freilich nicht ohne außergewöhnlichen Fleiß und Eifer, erreicht habe, was die langen Fernrohre leisten." Da dieser Artikel in den Transactions[1]), wie Oldenburg Huygens unter dem Datum des 21. März 1672 mitgeteilt hatte, Newtons Theorie über die Farben enthält, so läßt sich die Empfindlichkeit des Cambridger Professors in der Tat nur so erklären, daß Huygens seine theoretischen Folgerungen habe anzweifeln wollen. Wenn nun auch Huygens im Anschluß an Hooke für möglich erklärt hatte, daß es genüge, nur zwei Grundfarben, Gelb und Blau anzunehmen [2]), namentlich aber auf die Schwierigkeit der mechanischen Erklärung der Verschiedenheit der Farben hinwies [3]), so hatte er doch der schönen Arbeit Newtons alle Gerechtigkeit widerfahren lassen und so nahm die Hitze, mit der dieser seine Arbeit verfocht, Huygens die Lust, sich auf weitere Erörterungen über den Gegenstand einzulassen[4]). Wir wissen nicht, in-

---

rent refrangibility) is not so considerable a disadvantage in Glasses as I seem'd to be willing to make men believe, when I propounded concave mirrors as ye only hopes of perfecting Telescopes. But if he please to take his pen and compute ye errors of a glas and speculum that collect rays at equal distances, he will find, how much he is mistaken, and y^t I have not been extravagant, as he imagines, in preferring reflexions. And as for what he says of ye difficulty of ye praxis, I know it is very difficult, and by those ways wch he attempted it, I believe it vnpracticable. But there is a way insinuated in ye Transactions p. 3080, by wch it is not improbable but y^t as much may be done in large Telescopes, as I haue thereby done in short ones, but yet not without more than ordinary diligence and curiosity.

[1]) Philosophical Transactions Nr. 80, 19. Febr. 1671/2.

[2]) Huygens, Oeuvres complètes, Tome VII. La Haye 1897, S. 243.

[3]) Ebenda S. 229. — [4]) Ebenda S. 302.

wieweit Huygens damals seine Ideen über das Wesen des Lichtes bereits ausgebildet hatte. Newton aber setzte sich über die Unmöglichkeit einer mechanischen Erklärung mit den Worten hinweg, daß er diese andern überlasse. Wir haben indessen gesehen, daß er daran nicht festhielt, vielmehr selbst eine solche später gab, die unglücklich genug ausfiel. Die Nachwelt hat die Farbenlehre Newtons beibehalten, in der Erklärung des Lichtes und der Frage nach dem tauglicheren Fernrohr hat sie Huygens recht gegeben.

d) Newtons Principia Philosophiae naturalis.

Als im Jahre 1666 in Cambridge die Pest wütete, hatte sich Newton, um ihr zu entgehen, für einige Zeit in seine Heimat begeben, und hier im Garten zu Woolsthorpe war es, wo er die Ideen über die Wirkungsweise der Schwerkraft faßte, welche der Mechanik des Himmels die mathematische Begründung zu liefern berufen war. Ob ihn, wie Voltaire[1]) auf die Mitteilung von Newtons Nichte hin erzählt, die Beobachtung eines vom Baum fallenden Apfels dazu anregte, oder ob er lediglich durch theoretische Betrachtungen darauf geführt wurde, diese Anziehungskraft proportional dem Produkte der aufeinander wirkenden Massen und umgekehrt proportional dem Quadrate ihrer Entfernungen zu setzen, wissen wir nicht mit Bestimmtheit, sicher ist, daß er die letztere Beziehung aus Keplers Gesetzen folgerte. In einem Brief an Halley hat er sich dahin ausgesprochen[2]). Wie wir bereits sahen, fand er die Form des Gravitationsgesetzes in seinen Grundlagen bei Kepler vor, wie Galileis Arbeiten ihm die Fallgesetze und den Begriff der Trägheit, die von Huygens ihm die Gesetze der Kreisbewegung zur Verfügung stellten. Ja, Duhem[3]) macht auf eine von Des Cartes[4]) sehr abfällig kritisierte Arbeit

---

[1]) Voltaire, Eléments de la philosophie de Newton. Amsterdam 1738, Chap. III. Vgl. Brandes in Brewsters Sir Isaac Newton. Übers. von Goldberg. Leipzig 1833, S. 321, Note 10.

[2]) Brewster, Memoirs of the life, writings and discoverys of Sir I. Newton. Vol. I, S. 449.

[3]) Duhem, Ziel und Struktur der physikalischen Theorien. Deutsch von Adler. Leipzig 1908, S. 1[illegible].

[4]) Des Cartes, Correspondance. Edition P. Tannery & Ch. Adam. T. IV, S. 396.

de Roberval[1]) aufmerksam, worin dieser bereits 1643 die Ansicht einer allgemeinen Gravitation ausgesprochen hat. Aber indem Newton versuchte, die Schwerkraft und die gegenseitige Anziehungskraft der Weltkörper zu identifizieren und diese Annahme durch die Beobachtungen der Mondbewegung auf mathematischem Wege zu begründen, tat er einen wichtigen Schritt vorwärts, der ihm deshalb so hoch und wohl auch zu hoch angerechnet wurde[2]), weil die Anwendung der Mechanik zur völligen Erklärung der Bewegungen im Planetensystem als eine so erstaunliche Tat erschien, daß andere Leistungen weit hinter ihr zurückbleiben müßten.

Bei dieser Anwendung der Mathematik auf die mechanischen Probleme mit ihren sich stetig ändernden Bewegungen trat aber Newton das dafür Unzureichende der ihm zur Verfügung stehenden mathematischen Methoden hindernd in den Weg. Indem er dieses Hindernis durch Schaffung einer neuen mathematischen Methode, der Fluxionsrechnung, siegreich überwand, leistete er der Wissenschaft einen Dienst von der allergrößten Bedeutung, die dadurch nicht abgeschwächt wird, daß die Erfindung derselben Methode gleichzeitig Leibnizen gelang.

Schon mit dem Anfange der sechziger Jahre des 17. Jahrhunderts hatte die Royal Society versucht, über das Wesen der Schwerkraft, über welche als letzte Arbeiten die von Borelli vorlagen, aufklärende Untersuchungen zu erhalten. Solche nahm Hooke auf und versuchte zunächst die Frage zu entscheiden, ob das Gewicht eines Körpers mit seiner Erhebung über oder seiner Senkung unter der Erdoberfläche sich ändere. Er bediente sich dazu, wie dies auch 1881 Jolly mit besserem Erfolge tat, einer Wage, die auf der einen Seite übereinander zwei durch einen langen Draht verbundene Wagschalen trug, konnte aber einen Unterschied nicht entdecken[3]). Auch Versuche mit einer Pendeluhr führten zu keinem Ergebnis[4]), doch hielt der damalige Experimentator der Royal Society die erhaltenen Ergebnisse nicht für ausreichend, um die Frage zu entscheiden, ob die Schwerkraft von der Art der magnetischen Kraft sei, woran Gilbert und Keppler

---

[1]) De Roberval, Aristarchi Samii de mundi systemate, partibus et motibus ejusdem Liber singularis. Parisiis 1643.

[2]) Vgl. Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik, 3. Aufl. Leipzig 1887, S. 172.

[3]) Birch, The History of the Royal Society. Vol. II, S. 71.

[4]) Ebenda S. 72.

gedacht hatten. Die Bestrebungen, die Bewegung der Planeten durch die Versuche mit dem konischen Pendel zu erklären, verliefen ebenfalls resultatlos. Doch hielt ihn dies nicht ab, in einer im Jahre 1674 erschienenen Arbeit [1]) die Darlegung eines auf die Gesetze der Mechanik gegründeten Weltsystemes in Aussicht zu stellen, die er freilich nicht erfüllt hat.

Nun hatten Huygens Untersuchungen den Gedanken nahe gelegt, daß die kreisförmige Bahn des Mondes sich vielleicht auch aus der Schwerkraft der Erde erklären lasse, einen Gedanken, den der Cambridger Professor freilich schon von anderen Gesichtspunkten aus gefaßt hatte [2]). Der Überlieferung nach legte er zur Prüfung dieser Theorie aber ungenaue Abmessungen des Erdkörpers zugrunde und soll, da die Rechnung die Bewegung des Mondes nicht genau ergab, noch nach einer andern Ursache, die er den Kartesianischen Wirbeln entnahm, gesucht haben. Erst als er 1682 in einer Sitzung der Royal Society die Ergebnisse der durch Picard ausgeführten Meridianmessung erhalten habe, habe er die Rechnung wiederholt oder wiederholen lassen, die nun das richtige Ergebnis geliefert habe. Halten nun auch die mitgeteilten Erzählungen einer eingehenden Kritik[3]) nicht stand, so daß sie in das Gebiet der Legende zu verweisen sind, so muß er doch etwa vom Jahre 1679 an sich mit den in den „Prinzipien" behandelten Gegenständen beschäftigt haben. In diesem Jahre forderte die Royal Society durch Hooke, den sie nach dem Tode Oldenburgs zu ihrem Sekretär ernannt hatte, seine Meinung über ein astronomisches System, und Newton schlug in seiner Antwort einen Versuch vor, der die Umdrehung der Erde um ihre Achse unmittelbar zu erweisen geeignet war. Ein von großer Höhe herabfallender Stein müsse im Falle dieser Drehung eine Abweichung von der Vertikalen nach Osten zeigen, welche Ansicht Hooke dahin zu berichtigen zu müssen glaubte, daß die Abweichung vielmehr eine südöstliche sein müsse. Eine solche ergaben die von ihm angestellten Versuche in der Tat, doch so ungleichmäßig, daß Hooke selbst nicht mit ihnen zufrieden war.[4]) Doch kam er nicht dazu, genauere

[1]) Hooke, An attempt to prove the Annual motion of the earth from Observations. London 1674.

[2]) Newton, Brief an Halley vom 20. Juni 1686. Vgl. Rosenberger, Isaak Newton und seine physikalischen Prinzipien. Leipzig 1895, S. 121.

[3]) Rosenberger a. a. O., S. 122.

[4]) Birch, The history of the Royal Society of London. Vol. III, S. 519.

anzustellen. Wohl aber bewog seine Entgegnung Newton die Behauptung Hookes, daß der Weg des im leeren Raume herabfallenden Körpers eine Ellipse sein müsse, diese zu untersuchen und als Ergebnis seiner Untersuchung den Satz aufzustellen, daß ein Planet, auf den eine Kraft wirkt, deren Größe im umgekehrten Quadrate der Entfernung abnimmt, sich in einer Ellipse bewegen müsse[1]). Wenn er nun auch die dies Ergebnis enthaltende Abhandlung Anfang 1685 der Royal Society einsandte, so geschah dies mit dem ausdrücklichen Wunsche, sie noch nicht zu veröffentlichen. So dauerte es noch bis zum Frühjahr 1687, bis er die Handschrift seines vollständigen Werkes der Royal Society übergeben konnte, und bis zur Mitte des nämlichen Jahres, bis nach Überwindung einiger finanzieller Schwierigkeiten das Werk im Drucke erscheinen konnte.

Streitigkeiten mit Hooke hatten diese Verzögerung mit verschuldet. Auf die Annahme einer umgekehrt im Quadrate der Entfernung wirkenden Schwerkraft waren unabhängig von Newton auch Wren, Halley und Hooke gekommen. Sie hatten vergeblich versucht, daraus die Bewegung der Planeten zu erklären, als Halley von Newton gelegentlich eines Besuches in Cambridge die Abschrift der die Aufgabe lösenden Arbeit Newtons mitbrachte, der dann die Zustimmung ihres Verfassers zum Eintragen in das Registerbuch der Gesellschaft und die Mitteilung folgte, daß er sie so bald wie möglich zum Drucke fertig machen werde. Nun aber erklärte Hooke, daß die Entdeckung ihm gehöre und daß Newton von ihm die Anregung zu seiner Arbeit erhalten hätte. Dieser aber gab in einer scharf gehaltenen Antwort Hooke den nämlichen Vorwurf zurück, verstand sich dann aber dazu, jeglichen Streitens abhold, in seinen „Prinzipien" seinen drei genannten Landsleuten Gerechtigkeit widerfahren zu lassen. „Der Fall des sechsten Zusatzes," lautet die Anmerkung zum neunten Zusatz des vierten Lehrsatzes des ersten Buches der Prinzipien[2]), „gilt für die Himmelskörper (wie unsere Landsleute Wren,

---

[1]) Brief an Halley vom 27. Juli 1686 S. Brewster, Sir Isaak Newtons Leben. Deutsch von Goldberg. Leipzig 1833, S. 121.

[2]) Newton, Philosophiae naturalis Principia mathematica. Ed. II. Le Sueur et Fr. Jacquier. Ed. altera. Coloniae Allobrogum. 1760, T. I, S. 103: Casus corollarei sexti obtinet in corporibus coelestibus (ut seorsum collegerunt etiam nostrates Wrennus, Hookius et Hallaeus) et propterea quae spectant ad vim centripetam decrescentem in duplicatà ratione distantiarum à centris, decrevi fusiûs in sequentibus exponere.

Hooke und Halley selbständig gefunden haben), und deshalb habe ich beschlossen, das was sich auf die im doppelten Verhältnis der Abstände von den Zentren abnehmende Zentripetalkraft bezieht, im folgenden ausführlicher darzulegen."

Zu Newtons Lebzeiten erschienen drei Ausgaben der Prinzipien. Die zweite besorgte sein Schüler und Nachfolger Roger Cotes (1682—1716); sie erschien 1713 in Cambridge und wurde von ihrem Herausgeber mit einem ausführlichen Vorwort versehen. Die dritte gab 1726 der Professor der Medizin am Gresham College in London Pemberton (1694—1771) heraus, der dann nach ihres Verfassers Tode sich eine Reihe anderer nicht nur in England erschienener anschlossen. Die in ihnen enthaltenen Lehren fanden nur langsam außerhalb Englands Eingang. An den englischen Universitäten wurde sie bereits im 17. Jahrhundert vorgetragen, und wenn auch der Dr. Theol. Samuel Clarke (1675—1729) im Jahre 1697 das die Kartesianische Lehre in französischer Sprache vortragende Lehrbuch der Physik von Rohault in das Lateinische übersetzte, und diese Übersetzung bis 1710 zwei weitere Auflagen erlebte, so gab er dieser Übersetzung die Newtonschen Lehren in Anmerkungen bei. Sein Vorgehen wird sich wohl richtiger durch die weite Verbreitung des Rohaultschen Lehrbuches erklären lassen, als durch die von Playfair ausgesprochene Ansicht, daß Clarke auf diese Weise die Lehre des DesCartes durch die Newtons habe ersetzen wollen, ein solcher Zweck wäre ja auf diese Weise schwerlich zu erreichen gewesen [1]).

Mit Hilfe der Erkenntnis von der Wirkungsart einer Kraft und im Besitz der Fluxionsrechnung war Newton imstande, zum ersten Male die auf mathematischer Grundlage ruhende Physik in Form einer zusammenhängenden Lehre darzustellen und damit das erste Lehrbuch der theoretischen Mechanik oder mathematischen Physik zu schreiben. Dieses sind seine »Principia«, denen er die strenge Form des aus Definitionen, Grund- und Lehrsätzen bestehenden Lehrbuches wohl auch deshalb gab, um weiteren Streitigkeiten so viel wie möglich vorzubeugen. Doch versäumte er nicht, in beigegebenen Anmerkungen auf die Anwendungen der vorgetragenen Sätze einzugehen. Sind aber die Principa ein Lehrbuch der Mechanik, so können sie sich nicht nur auf die

[1]) Brewster, Sir Isaac Newtons Leben. Deutsch von Goldberg. Leipzig 1833, S. 143

Theorie der Bewegung der Himmelskörper beschränken. Dieser ist in der Tat nur das dritte und letzte Buch der »Principia« gewidmet, das um des großen Interesses seines Gegenstandes willen weniger wissenschaftlich streng gehalten ist und die Überschrift: Über das Weltgebäude trägt, während die beiden ersten Bücher die Bewegung der Körper behandeln.

Der Inhalt dieser drei Bücher ist dem Physiker der Gegenwart bekannt. Umfaßt er doch die Grundlagen seiner Wissenschaft, die von Newton zuerst zusammengefaßt oder ausgesprochen wurden. Ist ihr Hauptinhalt bereits in der ersten Auflage festgelegt, so haben die folgenden doch noch manche Verbesserungen aufzuweisen. So finden auch die Definitionen und Axiome, die dem Ganzen als von den Mathematikern angenommen und durch vielfältige Erfahrung bestätigt [1]) vorangestellt werden zum Teil ihre Erklärung erst in späteren Abschnitten. Dies zeigt sogleich die erste Definition, welche besagt, daß die Größe der Materie, für die er den Ausdruck Masse (Massa) einführt, durch Verbindung der Dichte und des Rauminhaltes gemessen wird. Unter Dichtigkeit aber versteht er die Menge der kleinsten materiellen Teilchen, die er als von ganz gleicher Natur und Größe annimmt. Er fügt hinzu, daß er die Proportionalität von Masse und Gewicht mittels genauer Pendelversuche gefunden habe, dabei auf das Mittel aber, welches etwa die Zwischenräume zwischen den Teilen durchdringen könne, keine Rücksicht genommen habe [2]). Die Größe der Bewegung gibt ihm das Produkt von Masse in Geschwindigkeit, die Materie besitzt Trägheit und die eingeprägte Kraft (vis impressa) ist das auf einen Körper ausgeübte Bestreben, seinen Bewegungszustand zu ändern. Er definiert sodann die Zentripetalkraft als proportional der Größe der wirkenden Ursache oder der durch sie erzeugten Beschleunigung oder der Größe der von ihr erteilten Bewegung, d. i. gleich dem Produkte aus Beschleunigung in Maße. Aber er verwahrt sich ausdrücklich dagegen, daß er die Art und Weise ihrer Wirkung oder ihre Ursache oder physikalische Beschaffenheit irgendwie erklären wolle, oder den Mittelpunkten (welche mathematische Punkte sind) Kräfte im wahren und physikalischen Sinne

---

[1]) Newtoni, Principia Philosophiae. Ed. altera. Le Sueur & Jacquier. Col. Allobrogum. 1760, S. 45. »Hactenus principia tradidi à Mathematicis recepta et experientiâ multiplici confirmata.«

[2]) Ebenda S. 2. »Medii interea, si quod fuerit, interstitia partium libère pervadentis, hîc nullam rationem habeo.«

beilege, wenn er sage, daß sich die Mittelpunkte anziehen oder daß es Mittelpunktskräfte gebe[1]). Er will also die Kräfte lediglich vom mathematischen Standpunkte aus betrachten. Die Sätze über die Kräfte verbreiten sich dann über die Art ihrer Wirkung, die Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung, ihre Zusammensetzung und die Bewegung der Schwerpunkte von Körpern durch deren Wirkung unter sich und die Bewegung dieser Körper selbst.

Der Grund, warum Newton in seinen Prinzipien von seiner Fluxionsmethode nur in sehr beschränktem Maße Gebrauch gemacht hat, ist verschieden angenommen worden. Rosenberger[2]) begnügt sich damit, es eine Seltsamkeit aus dem Leben des großen Briten zu nennen; Cantor[3]) und Giesel[4]) schließen sich einer 1715 in den Philosophical Transactions enthaltenen Angabe an, daß zwar Newton die meisten Sätze der Prinzipien mittels der neuen Analysis gefunden habe, er habe sie aber synthetisch bewiesen, damit die Gesetze des Himmels auf guter geometrischer Grundlage ruhten; Gerhardt[5]) endlich ist der Ansicht, daß die Ausbildung der Fluxionsrechnung ihm nicht genügt habe, und dürfte damit wohl das Richtige treffen.

Im ersten Buche der Prinzipien entwickelt Newton die Bahn eines Körpers, der sich unter der Wirkung von Zentralkräften bewegt. Dabei ergibt sich, daß eine Ellipse beschrieben wird, wenn die Zentralkraft dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist, daß man eine Parabel erhält, wenn die Geschwindigkeit des Körpers im Perihel einen bestimmten Wert erreicht, daß aber eine Hyperbel auftritt, wenn dieser Wert überschritten wird. Im weiteren versucht Newton umgekehrt für ein bekanntes Kraftgesetz die Bahn zu bestimmen, gelangt aber nur zur Umkehrung der erhaltenen Sätze für Kräfte, welche im

---

[1]) Ebenda S. 11. »Unde caveat lector, ne per hujus modi voces cogitet me speciem vel modum actionis causamve aut rationem Physicum alicubi definire, vel centris (quae sunt puncta Mathematica) vires verè et Physicè tribuere; si forte aut centra trahere, aut vires centrorum esse dixero.«

[2]) Rosenberger, Isaac Newton und seine physikalischen Prinzipien. Leipzig 1895, S. 177.

[3]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik, 2. Aufl., Bd. III, 1900, S. 199.

[4]) Giesel, Die Entstehung des Leibniz-Newtonschen Prioritätsstreites Progr. Delitzsch. 1866, S. 14, Anm. 13.

[5]) Gerhardt, Geschichte der Mathematik in Deutschland. München 1877, S. 180.

umgekehrten quadratischen Verhältnis mit der Entfernung stehen. Dann geht er zu der Untersuchung der Bewegung der Körper auf vorgeschriebenen Bahnen über, die er mit einer allgemeinen Betrachtung der Pendelbewegung abschließt, um endlich die im Planetensysteme obwaltenden Verhältnisse in Angriff zu nehmen, wobei er namentlich auch auf die gegenseitige Störung der Körper eingeht. Waren diese Erörterungen wesentlich mathematischer Natur, so geht Newton nun zur Darstellung der Wirkung physischer Körper aufeinander über, indem er zeigt, daß, wenn die einzelnen Teilchen eines solchen eine im umgekehrten Verhältnis des Quadrates ihrer Entfernungen wirkende Anziehung aufeinander ausüben, die Wirkung einer aus solchen gebildeten homogenen Kugel so erfolgt, als habe die sie hervorrufende Kraft ihren Sitz im Mittelpunkt der Kugel. Auch für physische Körper behalten also die abgeleiteten Sätze ihre Gültigkeit. Im letzten Abschnitt dieses Buches mit der Überschrift [5]: „Von der Bewegung sehr kleiner Körper, welche nach den einzelnen Teilen irgendeines großen Körpers gerichtete Zentrifugalkräfte antreiben", bereitet er dann die Anschauungen vor, die er, wie wir sahen, zur Erklärung der Brechung und der Beugung verwendete, Anschauungen, die von Lichtteilchen ausgehen, deren geradlinige Bewegungen durch anziehende Kräfte kleinster Körperteilchen beeinflußt werden.

Hatte Newton im ersten Buche der Prinzipien angenommen, daß die Bewegung im leeren Raum erfolge, so untersucht er im zweiten den Einfluß eines widerstehenden Mittels, den er in einem Verlust an Geschwindigkeit sieht, der der Geschwindigkeit proportional sein oder im doppelten Verhältnis der Geschwindigkeit stehen oder einen zwischen beiden liegenden Wert haben kann, um sich dann der Frage zuzuwenden, wie sich in einem solchen Mitel die Kreisbewegung gestaltet. Nachdem er dann auf die in Flüssigkeiten obwaltenden Verhältnisse eingegangen ist und bei dieser Gelegenheit die Bewegung eines in einer solchen schwingenden Pendels theoretischen und experimentellen Betrachtungen unterworfen hat, wendet er sich zu der Bewegung der Flüssigkeiten. Er leitet die von Torricelli aufgestellte Formel für die Ausflußgeschwindigkeit ab, berücksichtigt aber bei der Berechnung der Ausflußmenge, die

---

[5]) Newtoni Principia etc., S. 533. De motu corporum minimorum, quae viribus centripetis ad singulas magni alicujus corporis partes tendentibus agitantur.

Zusammenziehung des Strahles, als deren Grund er als der erste die zum Teil seitlich gerichteten Bewegungen der Flüssigkeitsteilchen erkennt. Auch die Bewegung eines in einer Flüssigkeit fallenden Körpers hat er bestimmt und die Wellenbewegung untersucht. Das Ergebnis war, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen im elastischen Mittel in einem Verhältnis steht, welches aus dem halben indirekten Verhältnis der Dichtigkeit und dem halben direkten der elastischen Kraft zusammengesetzt ist. Indem er nun aber hiernach die Geschwindigkeit des Schalles als die Quadratwurzel aus dem Quotienten der elastischen Kraft und der Dichtigkeit der Luft berechnete, erhielt er sie zu 296,2 m, und indem er einige ziemlich willkürliche Korrekturen wegen der in der Luft befindlichen fremden Bestandteile und der Spannkraft der Wasserdämpfe anbringt [1]), wie Halley zu 348,1 m.

Derjenige Teil der Principia aber, der Newtons Namen besonders berühmt gemacht hat, war der dritte. Enthält er doch neben dem Nachweise der Übereinstimmung der Schwerkraft mit der Anziehungskraft der Weltkörper aufeinander, die Bestimmung der Massen der Planeten und ihrer Dichtigkeiten, wobei er die der Erde fünf- bis sechsmal so groß als die einer ihr an Größe gleichen Wasserkugel annahm. Die Erklärung, der Ungleichheiten in ihren Bahnen und der Mondbahn sowie der Bahnen der Kometen, aber auch der sechsstündige Wechsel der Ebbe und Flut findet hier zum ersten Male eine zureichende Erklärung, und aus der von Cassini beobachteten Abplattung des Jupiter wird auf die Abplattung der Erde geschlossen, wie sie sich in der Tat aus der von Picard (1620—1682) auf Befehl Ludwigs XIV. zwischen Malvoisine und Amiens 1669 und 1670 unternommenen, bereits erwähnten Gradmessung ergeben hatte, und wie sie aus dem langsameren Gang der Pendeluhr, die 1672 Richer (gest. 1696) in Cayenne wahrnahm, gefolgert werden mußte. Daß Huygens bei seiner Bearbeitung der Zentrifugalkraft zu demselben Schluß gelangt war, wußte damals Newton noch nicht.

Ein eigentümliches Interesse kommt der Schlußbemerkung des dritten Buches zu, einmal weil sie zeigt, wie Newton die von ihm erkannte Zweckmäßigkeit des Planetensystemes darauf führt, daß eine solche Einrichtung nur „dem Plane und der Herrschaft eines einsichtigen

---

[1]) Ebenda T. II, S. 394.

und mächtigen Wesens seine Entstehung verdanken" [1]) könne, und daß „wenn die Fixsterne die Zentren von dem unsrigen ähnlichen Systemen sind, sie alle, weil sie nach dem nämlichen Plane gebaut sind, der Herrschaft eines Einzigen unterstehen"[2]) müssen, sodann aber weil in ihr Newton sich mit vollem Bewußtsein zur induktiven Methode bekennt. Liest man freilich das so oft gedankenlos aus dem Zusammenhang gerissene: »Hypotheses non fingo«, so möchte man zu anderer Ansicht kommen, indem man übersetzt: „Hypothesen bilde ich nicht!" Hätten seine Worte diesen Sinn, dann wäre er schwerlich jener große Forscher, dessen meisterhafte Anwendung der Induktion ihn zum würdigsten Nachfolger Galileis macht, und wie will man es dann verstehen, wenn er einige Reihen vorher seinen teleologischen Gottesbeweis hinschreibt, wenn er seine Opticks mit der Annahme von körperlichen Lichtteilchen beginnt, wenn fast eine jede der ihnen angeschlossenen »Queries« eine neue Hypothese enthält. Der beliebten Deutung, daß Newton keine Hypothesen habe machen wollen, wird zudem in der Vorrede von Cotes zweiten Auflage der Prinzipien, die Newtons Schüler im Einverständnis mit dem Meister verfaßt hat, direkt widersprochen, der die Methode der Experimentalphysik, zu der sich, wie Cotes ausdrücklich bemerkt, Newton bekannte, folgendermaßen schildert: „Diese (die auf solche Art arbeitenden Forscher) verlangen zwar, daß die Ursachen aller Dinge aus den möglichst einfachen Prinzipien abzuleiten seien; als Prinzip aber nehmen sie nie etwas an, was noch nicht durch die beobachteten Tatsachen bestätigt ist. Sie ersinnen nur Hypothesen und nehmen sie in die Physik auf, als Fragen, über deren Wahrheit verhandelt werden soll. Mittels einer doppelten Methode gehen sie daher vor, mittels der analytischen und der synthetischen. Die Naturkräfte und die einfacheren Kraftgesetze leiten sie aus einigen ausgewählten Erscheinungen durch Analyse ab, aus denen sie dann die Beschaffenheit der übrigen durch Synthese zur Erkenntnis bringen. Dieses ist die bei weitem beste Art der Forschung, welche unser hochberühmter Autor als den übrigen voranstehend anwenden zu müssen glaubte"[3]). Wird nun die obige Stelle nicht außer Zusammenhang

---

[1]) Ebenda T. III, S. 673. »consilio et dominio entis intelligentis et potentis oriri«.

[2]) Ebenda: »Si stellae fixae sint centra similium systematum, haec omnia simili consilio constructa suberunt Unius dominio.

[3]) Ebenda T. I, XVI. Hi quidem ex simplicissimis quibus possunt principiis rerum omnium causas derivandas esse volunt: nihil autem principii loco assumunt,

zitiert, so gewinnt sie auch einen andern Sinn. Nachdem Newton die Wirkungen der Schwere ausführlich dargelegt hat, fährt er fort: „Den Grund dieser Eigenschaften der Schwere habe ich aus den Erscheinungen noch nicht ableiten können, und Hypothesen machte ich nicht"[1]). Also nur über das Wesen der Schwere will Newton keine so willkürlichen Hypothesen bilden, wie dies Des Cartes u. a. getan hatten. Nur gegen solche gerichtet, nicht aber allgemein gemeint ist jener Ausspruch, und man wird wohl endlich aufhören müssen, des großen Briten Forschungsart durch jenes aus dem Zusammenhang gerissene Zitat herabzusetzen.

e) Newtons Ansichten über die Konstitution der Materie und seine sonstigen Arbeiten.

Indem Newtons Betrachtungsweise im wesentlichen den mathematischen Ausdruck der Beziehungen der Körper untereinander hauptsächlich zum Gegenstand hatte, trat für diese die physische oder metaphysische sehr zurück, und wenn sie sich einer solchen auch wohl bediente, so geschah es nur gelegentlich und die ausgesprochenen Ansichten sind deshalb in den verschiedenen Entwicklungsstufen ihres Urhebers vielfach ganz verschieden. Ist es demnach nicht leicht ihnen nachzugehen, so hat diese Aufgabe doch auch wieder ein eigentümliches Interesse, denn die Beschäftigung mit ihr, läßt erkennen, inwieweit es dem Schöpfer der mathematischen Physik möglich war, seine Ideen von den physikalischen Anschauungen seiner Zeit frei zu machen. Sie sind der Hauptsache nach in den Fragen enthalten, die den Opticks zugefügt wurden und die ihr Verfasser in den bei seinen Lebzeiten erschienenen spätern Auflagen immer wieder vermehrte.

Die Körper dachte sich Newton[2]) als aus Partikeln bestehend, die Trägheit besitzen und damit den passiven Bewegungsprinzipien

quod nondum ex phaenomenis comprobatum fuerit. Hypotheses non comminiscuntur, neque in physicam recipiunt, nisi ut quaestiones de quarum veritate disputetur. Duplici itaque methodo incedunt, analyticâ et syntheticâ. Naturae vires legesque virium simpliciores ex selectis quibusdam phaenomenis per analysin deducunt, ex quibus deinde per synthesim reliquorum constitutionem tradunt. Haec illa est philosophandi ratio longè optima, quam prae caeteris meritò amplectendum censuit celeberrimus auctor noster«.

[1]) Ebenda T. III. »Rationem verò harum gravitatis proprietatum ex phaenomenis nondum potui deducere, et hypotheses non fingo«.

[2]) Opticks. 2. Ed. London 1718, S. 375 ff. Klassiker Nr. 97, S. 143 ff.

unterliegen, die aber auch von aktiven Prinzipien, wie der Schwerkraft oder der Ursache der Gärung oder der Kohäsion der Körper bewegt werden. Diese Prinzipien sind aber nicht die „verborgenen Qualitäten", als welche sie die Aristoteliker darstellten, es sind vielmehr bemerkbare Eigenschaften, deren Ursachen freilich verborgen sind. Mit Hilfe dieser Prinzipien sind alle materiellen Dinge aus den harten und festen, massiven, undurchdringlichen und beweglichen Partikeln von Gott zusammengeordnet, nachdem er die Partikeln geschaffen hatte. Sie sind so hart, daß keine Macht gewöhnlicher Art sie zerbrechen kann; ließe ein einziger Versuch auf die Möglichkeit ihrer Zerteilung schließen, so müßte man annehmen, daß auch diese Unzerlegbaren bis ins Unendliche zerteilt werden können. Sollten sie sich abnutzen oder zerbrechen, so würde sich die Natur der von ihnen abhängenden Körper verändern. Indem sie sich aneinander lagern, aber sich nur in wenigen Punkten berühren, bilden sie die Körper, ihre Trennung mit folgenden neuen Vereinigungen läßt neue Körper entstehen. Zwischen diesen Partikelchen sind Kräfte tätig, zunächst eine Anziehung, die bei unmittelbarer Berührung außerordentlich stark ist, bei geringen Abständen aber die chemischen Vorgänge verursacht [1]. „Und wie in der Algebra da, wo die positiven Größen aufhören und verschwinden, die negativen beginnen, so muß in der Mechanik da, wo die Attraktion aufhört, eine abstoßende Kraft nachfolgen," [2] wie Newton solche, was früher bereits dargelegt wurde, zu der Erklärung der Lichtbrechung und Zurückwerfung benutzt. Auf der Anziehung beruhen die Erscheinungen der Kapillarität, der Gravitation, des Magnetismus und der Elektrizität, und es ist gar nicht unmöglich, daß die Körpermaterie in Licht und umgekehrt verwandelt werden könne [3].

Wie nun ein auf Wasser fallender Stein Wellen erregt, so wird ein auf die Oberfläche eines durchsichtigen Körpers fallendes Lichtteilchen Vibrationen erregen, die die Lichtteilchen erreichen und überholen und in die Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchganges versetzen. Diese Annahme setzt aber einen sich durch den Weltenraum verbreitenden Stoff, den Äther, voraus [4]. Er muß ein viel feineres

---

[1]) Ebenda Query 31, S. 364. Klassiker S. 135.
[2]) Ebenda Query 31, S. 370. Klassiker S. 139.
[3]) Ebenda Query 30, S. 349. Klassiker S. 124.
[4]) Ebenda Query 17, S. 322. Klassiker S. 107.

Medium als die Luft sein [1]), denn sonst würde er auf die Bewegung der Planeten und Kometen einen solchen Einfluß ausüben, daß sie nicht regelmäßig und andauernd bleiben könnte [2]). „Ein dichtes Fluidum kann nichts nützen zur Erklärung der Naturerscheinungen, da sich ohne ein solches die Bewegungen der Planeten und Kometen weit besser erklären . . . Wenn aber eine solche Flüssigkeit von keinem Nutzen ist und die Operationen der Natur hindert und schwächt, so ist kein Grund für deren Existenz vorhanden, und folglich muß sie verworfen werden. Damit ist auch die Hypothese beseitigt, daß das Licht in Druck oder Bewegung bestehe, die sich in solch einem Medium verbreiten" [3]). So macht sich Newton die Zurückweisung der Huygensschen Annahme leicht genug.

Da er nun aber die Wärme für Schwingungen des Äthers hält, so gibt ihm die Annahme eine willkommene Gelegenheit, sein Dasein auch experimentell zu prüfen. Er hing zwei kleine Leinölthermometer in lange Zylindergläser, machte das eine luftleer, während er in dem andern die Luft ließ. Als er dann beide von einem kalten in einen warmen Raum brachte, sah er die Thermometer gleich rasch steigen und schloß daraus, daß die Übertragung der Wärme nur durch den Äther stattgefunden haben könne [4]). Dann aber mußte er die Poren aller Körper durchdringen, aber in denen fester Körper und namentlich in denen der Sonne und der Planeten weniger dicht sein als in den leeren Räumen zwischen ihnen [5]). Der Äther aber muß aus einzelnen Teilchen von äußerster Kleinheit bestehen, die sich mit solcher Kraft abstoßen, daß er viel dünner und elastischer ist als die Luft und durch sein Bestreben nach Ausdehnung auf große Körper einen Druck auszuüben imstande ist [6]). Indem er aber mit wachsender Entfernung von den Weltkörpern immer dichter wird, so verursacht er deren Gravitation und die ihrer Teile, weil jeder Körper von dem dichteren Teil des Mediums nach dem dünneren zu gehen strebt [7]).

---

[1]) Ebenda Query 18, S. 323. Klassiker S. 107.
[2]) Ebenda Query 28, S. 339. Klassiker S. 118.
[3]) Ebenda Query 28, S. 348. Klassiker S. 120.
[4]) Ebenda Query 18, S. 323. Klassiker S. 107.
[5]) Ebenda Query 21, S. 324. Klassiker S. 108.
[6]) Ebenda Query 21, S. 326. Klassiker S. 109.
[7]) Ebenda Query 21, S. 325. Klassiker S. 108.

Indem Newton diese Erklärung der Schwere, welche er bereits 1678 in einem Brief an Boyle entwickelte[1]), noch in der dritten Auflage der Opticks vom Jahre 1721 beibehielt, wenn er ihr auch kein großes Gewicht beilegen zu sollen glaubte, brach er die Brücke zwischen seiner Vorgänger Ansichten, welche diese Kraft durch Vermittlung eines Mediums erklären wollten und der seinigen nicht ab. Hat auch er doch stets betont, daß er nur die mathematischen Gesetze aufstellen, über die physikalischen Verhältnisse aber nichts aussagen wolle. Indessen ist es begreiflich genug, daß seine Nachfolger von der zwingenden Gewalt seiner Schlüsse geblendet, diese Vorsicht nicht übten, vielmehr eine Kraftwirkung in die Ferne ohne jede Vermittlung annahmen, eine Vorstellung, welche erst durch die Arbeiten Faradays wieder beseitigt wurde. So redet denn auch Newton von Effluvien als Trägern der magnetischen und elektrischen Erscheinungen, obwohl er über diese Teile der Physik, die Anordnung des jetzt als elektrischen Puppentanz bezeichneten Versuches ausgenommen, keine Versuche angestellt hat[2]). Mag er so der erste gewesen sein, der zuerst fand, daß Glastafeln durch Reibung mit Wolle elektrisch werden, so führten ihn magnetische Versuche, über deren Einzelheiten wir freilich nicht unterrichtet sind, zu der Annahme, daß die magnetische Kraft nicht im Verhältnis der zweiten, sondern der dritten Potenz der Entfernung wirke[3]). Wie wenig physikalisch, oder wenn man will körperlich, er den Äther und seine Äußerungen betrachtete, beweist die Bemerkung darüber, die den Schluß der Prinzipien bildet. „Hier möchte es gestattet sein," sagt er[4]), „einiges über eine gewisse geistige Substanz zuzufügen, welche die festen Körper durchdringt und in ihnen enthalten ist, durch deren Kraft und Tätigkeit sich die Körperteilchen in den kleinsten Entfernungen gegenseitig anziehen und die in Berührung gebrachten aneinander haften, und die elektrischen Körper auf größere Entfernungen wirken, indem sie benachbarte Teilchen zurückstoßen oder anziehen; und indem das Licht ausgesendet und reflektiert, gebrochen und gebeugt wird und indem sie die Körper erwärmt."

---

[1]) Horsley, Newtoni Opera. Londini 1784, T. IV, S. 385.

[2]) Newton, Philosophical Transactions 1675.

[3]) Newton, Principia etc. Lib. III, Prop. VI, Coroll. 5, Tom. III, S. 39.

[4]) Ebenda. Scholium generale, S. 676: Adjicere jam liceret nonnulla de spiritu quodam subtilissimo corpora crassa pervadente, et in iisdem latente; cujus vi et actionibus particula corporum ad minimas distantias se mutuò attrahunt,

Neben solchen Annahmen stechen die Versuche vorteilhaft ab, die Newton anstellte, um eine genauere Wärmeskala herzustellen, die freilich an Bedeutung verloren, nachdem Fahrenheit eine solche auf einfacherem Wege erhalten hatte. Sie ist deshalb bemerkenswert, weil ihr Urheber über seine Bestrebungen auch höhere Temperaturen bis zu der eines Kohlenfeuers zu messen berichtet. Nach der 1701 anonym veröffentlichten Schrift [1]) ging er von der Hypothese aus, die sich jetzt noch als Newtonsches Erkaltungsgesetz in den Lehrbüchern findet, daß die Wärmemenge, welche ein erhitzter Körper in einer gegebenen kurzen Zeit verliert, seinem Wärmeinhalt proportional ist, daß aber die in der Zeiteinheit von der Flächeneinheit ausgestrahlte Wärme dem Überschuß der Temperatur des wärmeren Körpers über die des kälteren, also seiner Umgebung, proportional ist. Zu seinen Temperaturbestimmungen benutzte Newton Leinölthermometer, da der Siedepunkt des Leinöls viel höher liegt als der des Weingeists. Setzte er das Volumen des angewendeten Leinöls beim Gefrierpunkt gleich 1000, so stieg es, wenn ihm die Temperatur des menschlichen Körpers erteilt wurde, auf 1025, bei der Temperatur des kochenden Wassers aber war es 1071. Teilte er nun die Raumzunahme des Leinöls vom Gefrierpunkt bis zur Blutwärme in 12 Teile und bezeichnete jenen mit 0°, so geriet das Wasser bei 30° in das Sieden. Höhere Temperaturen bestimmte er, indem er eine Eisenstange bis zur Rotglut erhitzte und die Zeit beobachtete, welche verfloß, bis sie die Blutwärme angenommen hatte, was durch das Gefühl beim Anfassen entschieden wurde. Indem er dann in der nämlichen Weise den Schmelzpunkt verschiedener Körper untersucht, fand er den des Wachses bei 24° seiner Skala, den einer Legierung von gleichen Teilen Zinn und Wismut bei 48°, den des Bleies bei 96° und die Temperatur eines Kohlenfeuers bei 196°. Da er den Siedepunkt des Wassers nicht konstant fand, so konnte er nicht daran denken, ihn als festen Punkt zu benutzen. Können nun auch diese Zahlen auf besondere Genauigkeit keinen Anspruch machen, so war doch das von Amontons an Stelle des Newtonschen vorgeschlagene Verfahren [2]) keineswegs eine Verbesserung. Denn wenn auch

---

et contiguae factae cohaerent; et corpora electrica agunt ad distantias majores, tam repellendo quàm attrahendo corpuscula vicina; et lux emittitur, reflectitur, refringitur, inflectitur, et corpora calefacit.

[1]) Tabula quantitatum et graduum caloris. Philosophical Transactions 1771.

[2]) Amontons, Mémoires de l'Académie française 1702, S. 1. Paris 1703.

dessen Vorschlag an Stelle der Erkaltungszeiten den Abstand der Punkte, an denen das Eisen die Temperatur der Rotglut und an denen es die Temperatur der Umgebung besaß, zu setzen, als zweckmäßig erschien, so hat sich die Annahme Amontons, daß die Abnahme der Temperatur proportional dem Abstand vom erhitzten Ende erfolgte, nicht als zutreffend erwiesen.

f) Leibnizens mathematische und physikalische Arbeiten.

Hatte Newton in den Streitigkeiten, in die er, wie wir sahen, sehr gegen seinen Willen gezogen wurde, rechtzeitiges Entgegenkommen geübt und sie dadurch rasch beigelegt, so zeigte er nicht dieselbe Mäßigung in dem berühmten oder besser berüchtigten Streit um die Infinitesimalrechnung, in den er und seine Anhänger im Anfange des 18. Jahrhunderts mit Leibniz gerieten. Gottfried Wilhelm Leibniz war am 21. Juni (a. St.) 1646 in Leipzig geboren, wo sein Vater, den er freilich schon 1652 verlor, eine Professur an der Universität inne hatte. Als 15 jähriger Jüngling bezog er die Universität seiner Vaterstadt. verließ sie aber 1666, als seiner Promotion zum Doktor der Jurisprudenz seiner Jugend wegen Schwierigkeiten gemacht wurden, um diese Würde in Altdorf zu erlangen. Er lebte dann mehrere Jahre in Nürnberg, wo er durch den Eintritt in die alchymistische Gesellschaft[1]) sich Kenntnisse in der Chemie verschaffte, um 1670 nach kurzem Aufenthalt in Frankfurt a. M. als Rat an das Oberrevisionskollegium zu Mainz, dem höchsten Tribunal des dortigen Kurfürsten auf den Vorschlag von dessen Minister des Barons Johann Christian von Boyneburg, der in Nürnberg auf ihn aufmerksam geworden war, nach Mainz überzusiedeln. In seinem Auftrage reiste er 1672 nach Paris, wo er Ludwig XIV., um ihn vom Deutschen Reiche abzulenken, für einen Feldzug nach Ägypten gewinnen sollte. Ebenfalls im diplomatischen Dienst ging er im folgenden Jahre nach London, wo er mehrere der dort damals lebenden Gelehrten kennen lernte, kehrte aber nach

---

[1]) Diese Gesellschaft, für die er alchemistische Schriftsteller zu exzerpieren hatte, war eine rosenkreuzerische. Daß die Rosenkreuzer-Brüderschaft, deren Kunde man zuerst aus einer Schrift des württembergischen Theologen Joh. Val. Andreae (1586 bis 1654) erhielt, wirklich existiert hat, ist nicht sicher, wahrscheinlich war sie nur eine Fiktion, die von solchen, die die Aufmerksamkeit auf ihre alchemistischen Schriften richten wollten, aufrecht erhalten wurde. (Vgl. Kopp, Gesch. der Alchemie. Heidelberg 1886, T. I, S. 232, T. II, S. 15.

zweimonatlichem Aufenthalte, veranlaßt durch den Tod des Kurfürsten Johann Philipp, nach Paris zurück. Hier schloß er sich an Huygens an, der ihm bei seinen mathematischen Studien, denen er sich zugewandt hatte, behilflich war, und hier war es, wo er im Jahre 1675 die erste Idee zur Infinitesimalrechnung faßte. Dort erhielt er eine Berufung an den Hof des Herzogs Johann Friedrich von Hannover, mit dem er bereits seit längerer Zeit in Briefwechsel stand. Er folgte ihr und traf im Dezember 1676 nach nochmaligem kurzem Aufenthalt in London und ebensolchem in Amsterdam und dem Haag in Hannover ein. Im Dienste der Herzöge, seit 1692 der Kurfürsten von Hannover, blieb er bis zu seinem am 14. November 1716 erfolgten Tode, wenn ihn auch mehrfache Reisen an verschiedene Orte des Deutschen Reiches, nach Berlin, Wien und von da nach Italien bis Rom und Neapel führten.

Leibnizens Tätigkeit war eine überaus fruchtbare und vielseitige, doch hat ihm diese Vielseitigkeit mit Unrecht den Ruf eines gelehrten Polyhistors eingebracht, zu welchem ihn Voltaire zu stempeln versuchte. Gewiß war er das, denn er besaß ein Gedächtnis ohnegleichen, aber ein Denker, der den Grund zur Entwicklung der modernen Mathematik legen konnte, mußte auch eines gründlichen und tiefen Eingehens in die schwierigsten Fragen der Wissenschaft fähig sein. Und eine solche Fähigkeit, verbunden mit einer Staunen erweckenden Arbeitskraft, hat er auf allen Gebieten des menschlichen Wissens bewiesen, in den verschiedensten Wissenschaften Werke hinterlassen, die in Vergleich zu denen der bei weitem meisten seiner Zeitgenossen uns durchaus modern anmuten. Wenn er auch hinsichtlich seiner Ergebnisse auf den Wissensschatz, den ihm seine Zeit bot, angewiesen war, und sie deshalb den gegenwärtig geltenden gegenüber öfters rückständig erscheinen, so hat er doch in fast allen den Grund gelegt, auf dem die Folgezeit weiter bauen konnte. So ist seine Protogaea die Vorläuferin der Weltbildungstheorien geworden, hat seine Monadologie die Grundlage der empirischen Richtungen in der Philosophie abgegeben, atmen seine theologischen, historischen und philologischen Schriften den Geist der neueren Zeit im Gegensatze zu dem, welchen man in den ungenießbar gewordenen Arbeiten seiner Zeitgenossen findet. Dabei war er ein Staatsmann, der nicht nur mit der Feder wirkte, sondern auch von den Fürsten, in deren Dienst er stand, ja auch vom Kaiser mit diplomatischen Sendungen betraut wurde, und sein Briefwechsel, den er überall da anknüpfte, wo er etwas zu lernen hoffen durfte, ist noch jetzt eine keineswegs erschöpfte Fund-

grube für historische Arbeiten jeder Art. Auch in Physik und Technik hat er Vorschläge von großer Bedeutung gemacht, seine größte Tat aber war die Schöpfung der Infinitesimalrechnung [1]). Wenn es nun auch richtig ist, daß er die meisten dieser hochbedeutsamen Leistungen nur in wenig umfangreichen Schriften, vielfach auch nur in seinen Briefen niedergelegt hat, so darf man ihn deswegen doch nicht der Zersplitterung zeihen oder seinen Einfluß auf die Entwicklung der Wissenschaft als ganz unbedeutend betrachten. Ein systematisches Zusammenfassen seiner vielen sich durch sein ganzes Leben hindurchziehenden Arbeiten würde zwar deren Benutzung bequemer gemacht, ihren Inhalt aber nicht weiter geführt haben. Wer aber festhält, in welchem Maße zu Leibnizens Zeiten die zwischen den Gelehrten gewechselten Briefe die Zeitschriften der Gegenwart ersetzen mußten, der wird auch nicht zu entscheiden wagen, inwieweit deren Inhalt auf den Fortschritt der Wissenschaft gewirkt hat, inwieweit nicht. Lassen sich doch die nämlichen Bedenken gegen alle die brieflichen Mitteilungen jener Zeit ausdehnen, auf die wir so vielfach als Quellen angewiesen sind.

Die früheste Arbeit Leibnizens, die für die Geschichte der Physik von Bedeutung ist, hat er 1670 verfaßt, ihren ersten Teil der Royal Society in London, ihren zweiten der Pariser Akademie der Wissenschaften gewidmet, beide 1671 drucken lassen [2]). Sie enthielt eine neue physikalische Hypothese, die freilich ihr Urheber wieder fallen ließ oder bis zur Unkenntlichkeit weiter bildete, ist aber hier nicht zu übergehen, einmal weil sie der Ausgangspunkt von Leibnizens späteren Untersuchungen bildete und sodann, weil sich neuere Theorien auf sie berufen haben. Danach ist der planetarische Raum mit flüssigem Äther erfüllt, durch den sich das Licht und jede Bewegung fortpflanzen können. Von der Sonne treten nun fortwährend Teile aus, die sich aber immer wieder ersetzen. Diese Sonnenstrahlen üben auf die Oberflächen der von ihnen getroffenen Körper einen Druck aus und bewirken

---

[1]) Vgl. Guhrauer, Gottfried Wilhelm Freiherr von Leibnitz. Breslau 1846, Bd. I.

[2]) Leibniz, Hypothesis physica nova, qua Phaenomenorum Naturae plerorumque causae ab unico quodam naturali motu, in globo nostro supposito, neque Tychonicis, neque Copernicanis aspernando repetuntur. Moguntiae 1671. Gerhardt, Leibnizens mathematische Schriften, Bd. VI. Halle 1860, S. 17. Vgl. hierüber Laßwitz, Geschichte der Atomistik, Bd. II. Hamburg und Leipzig 1890, S. 445 ff.

dadurch eine gleichgerichtete Bewegung ihrer Teilchen; darin aber besteht das Wesen der festen Körper, während die Teilchen der Flüssigkeiten verschieden bewegt sind. So sind auch die Teilchen der Oberfläche der Erde kohärent geworden, da sich aber die Erde um ihre Achse dreht, so müssen sich zwischen denen, welche auf benachbarten Parallelkreisen liegen, Spalten bilden, in die der Äther eindringt und bis zum Mittelpunkt getrieben wird. Seine geradlinige radiale Bewegung gerät aber mit der kreisförmigen der Körperteilchen in Gegensatz, und dieser löst sich dadurch, daß diese jene Bläschen bildend umschließen, aus denen sich nun alles bildet. Die Zirkulation des Äthers, die einen Körper um so mehr stört, je weniger Äther er enthält, wird Ursache der Schwere. Nach den Orten solcher Ätherarmut, wie die feste Erde, wird er also gestoßen, auf der Erde also nach unten. Auch die Elastizität hat in dieser Bewegung des Äthers ihren Grund. Ebenso beruhen Licht und Schall auf Ätherbewegungen, letzterer auf einer gemäßigten, in Kreisen fortschreitenden.

Die von Osten nach Westen erfolgende Bewegung des Äthers hindert den Magneten, sich in diese Richtung zu stellen. In ihm aber findet eine Bewegung in Kreisen statt, die sich wie Meridiane in den Polen schneiden und, indem sie die umgebende Luft fortschleudert, die Anziehung des Eisens durch den Magneten bewirkt. Die zerspringenden Bläschen können neue, aber den zerstörten unähnliche bilden, aber eine Anzahl kleinerer Bläschen können sich auch zu größeren vereinigen. So entsteht die Verschiedenheit der chemischen Körper, deren Atome umgekehrt wieder bis ins Unendliche teilbar sind. Wenn nun auch Leibniz selbst diese Annahmen später wieder verlassen hat, so haben sich doch des öfteren die neueren Ätherdrucktheorien der Schwere, die Anhänger der Lehre von dem Vorhandensein des Wassers in der Luft in Bläschenform, die noch Clausius zur Erklärung von deren Farbe heranzog, auf sie berufen, während die Annahme über das Wesen der magnetischen Kraft Faradays Kraftlinien zu ahnen scheint.

Daß die Annahme seiner Bläschen und die der unbegrenzten Teilbarkeit sich nicht vereinigen lassen, entging indessen Leibniz nicht, und dieser Widerspruch führte ihn zur ersten Konzeption des Differentials. „Ein Punkt ist", sagt er im zweiten Teile seiner Hypothesis physica [1]), „dasjenige, dem keine Ausdehnung zukommt oder

[1]) Nach der Übersetzung von Laßwitz a. a. O., Bd. II, S. 464.

dessen Teile keinen Abstand haben, dessen Größe sich nicht in Betracht ziehen oder angeben läßt, weil sie kleiner ist als das, was durch ein Verhältnis zu einer anderen sinnlichen Größe (es sei denn ein unendliches) darstellbar ist, und kleiner, als man angeben kann. Und dies ist das Fundament der Cavalierischen Methode, wodurch ihre Wahrheit evident bewiesen wird, indem man gewisse sozusagen Rudimente oder Anfänge der Linien und Figuren denkt, kleiner als jede angebbare Größe." Gilt dies nun vom Raume, so muß ein ähnliches bei der Bewegung stattfinden, bei der an die Stelle des Punktes das Wegelement, der „Conatus", die Tendenz zur Bewegung tritt, der selbst dann bleibt, wenn die Bewegung aufhört. Aber damit war das Wesen der physischen Körper noch nicht erklärt. Noch fehlte es an etwas, was den Konatus zur Bewegung werden läßt, und als solches führt Leibniz eine bewegende Kraft ein. Da diese aber neben der Materie bestehen muß, so vereinigt er beide unter dem metaphysischen Begriffe der Substanz, die immer agiert, so zwar, daß jedes Agens Substanz genannt wird [1]). Diese tätigen Substanzen sind nun seine Monaden, nicht stoffliche, sondern substanzielle Atome, metaphysische Punkte, welche etwas Lebendiges besitzen und deren Vereinigung die physischen Punkte gibt. Nach seinem System der prästabilierten Harmonie aber trägt jede Monade das Gesetz ihrer eigenen Entwicklung so in sich, daß die Zusammenstimmung aller dieser Entwicklungen gesichert ist [2]).

Diese mehr philosophischen Betrachtungen haben für die Geschichte der Mathematik und Physik deshalb ein besonderes Interesse, weil Leibniz durch sie auf die Erfindung der Infinitesimalrechnung und auf die Entdeckung des Prinzips von der Erhaltung der Energie geführt wurde. Es ist bekannt, daß um die Priorität in der ersteren sich ein Streit zwischen ihm und Newton erhob, der erst aus seinem handschriftlichen Nachlaß dahin entschieden werden konnte, daß beide unabhängig voneinander in den siebziger Jahren des 17. Jahrhunderts jener die Fluxions-, dieser die Integral- und Differentialrechnung entwickelte. Vorarbeiten dafür lagen von Keppler, Des Cartes, Fermat und besonders, worauf, wie wir sahen, Leibniz namentlich aufmerksam macht, von Cavalieri vor, und es bedurfte nur des Ersinnens eines allgemeinen und ausdehnungsfähigen Algorithmus,

---

[1]) Laßwitz, a. a. O. Bd. II, S. 479.

[2]) Ebenda S. 482.

um alle damals in Betracht kommenden, namentlich die Behandlung der Kurven betreffenden Aufgaben lösen und sich neuen ebenfalls gewachsen zeigen zu können. In dieser Hinsicht erwies sich Newtons 1663 gefaßter, aber erst 1693 veröffentlichter Gedanke so unzureichend, daß Biot aussprechen konnte, selbst wenn man die Fluxionsrechnungen, wie sie in Newtons Werken enthalten ist, beherrsche, so müßte man die Differentialrechnung, deren Anfänge Leibniz in den Actis Eruditorum von 1684 mitteilte, doch noch lernen [1]). Sie ist die jetzt allgemein angewendete, die Fluxionsrechnung hat außer in den Händen von Newton kaum Früchte gezeitigt. Der Streit um ihre Erfindung aber nahm seine gehässige Form durch Newtons Schuld an, dem der sich gewaltig überschätzende Fatio de Duilliers [2]) und der fanatische Kreill, später freilich auch die Royal Society zur Seite standen. Scheuten sich doch die Engländer nicht, mit „Fälschungen gleichkommenden Änderungen“ [3]) dem Gegner entgegenzutreten, ja auch ihm in das Grab noch solche nachzurufen, während Leibniz es wohl nicht zu verdenken ist, daß er allein allen diesen Gegnern gegenüberstand, scharfe gegen ihn geführte Hiebe mit ebensolchen erwiderte [4]).

---

[1]) Guhrauer, Gottfried Wilhelm Freiherr von Leibnitz. Breslau 1846, Bd. I. S 180

[2]) »Il assez inutile«, schreibt Fatio am 28. Dezember 1691 an Huygens, »de prier Monsieur Newton de faire une nouvelle édition de son livre (die Prinzipien). . . Mais il n'est impossible que j'entreprenne cette édition; à quoi je me sens d'autant plus porté que je ne croi pas qu'il y ait persone qui entende à fonds une si grande partie de ce livre que moi, graces aux peines que j'ai prises et au temps que j'ai emploié pour en surmonter l'obscurité.« Huygens hat dazu an den Rand des Briefes bemerkt: »Mr. Newton seroit heureux.« Huygens, Oeuvres complètes, T. X. La Haye 1905, S. 213.

[3]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik, 2. Aufl., 3. Band. Leipzig 1901, S. 326.

[4]) Den Prioritätsstreit haben neuerdings Cantor, Gerhardt und Rosenberger ausführlich geschildert und Newtons Auftreten dabei gebührend verurteilt. Am glimpflichsten geht Rosenberger (Isaac Newton und seine physikalischen Prinzipien. Leipzig 1895, S. 506) mit ihm um, indem er sein ganzes Verhalten während des Streites als ein „Zeichen für die durchaus subjektive Natur dieses Mannes“ ansieht, der durch die Versenkung in seine Ideen die Fähigkeit verloren habe, fremdes Verdienst neben seinem eigenen zu würdigen, womit freilich nicht viel gesagt ist. Leibnizen wirft Gerhard (Geschichte der Mathematik in Deutschland. München 1877) eine gewisse Ruhmredigkeit und Eitelkeit vor, während Cantor (a. a. O. 3. Bd., S. 182) an ihm tadelt, daß er Newton

Die Entscheidung dieses Streites, der Leibnizens letzte Lebensjahre verbitterte, ist erst im vorigen Jahrhundert gefallen, zu seinen Gunsten gefallen. Diejenige in einer anderen nicht minder heftigen Kontroverse über das Maß der Kraft hat er selbst noch zu einem für ihn erfreulichen Ende führen können. Während die Kartesianer als solche die Bewegungsgröße, die dem Produkt aus Maße in Geschwindigkeit proportional ist, angesehen wissen wollen, suchte Leibniz, gestützt auf die von Huygens aufgestellte Lehre vom Stoß, an deren Stelle die dem Produkt aus Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit proportionale lebendige Kraft zu setzen und hat in einem namentlich mit Papin darüber geführten Streite, von dem bereits die Rede war, endlich recht behalten. Aber nun galt es, eine andere Schwierigkeit zu beseitigen, die Newton bei seinem lediglich mathematischen Standpunkte nicht entgegentrat, als er den Grund der Geschwindigkeitsabnahme in einem widerstehenden Mittel eben nur in dem von

---

des Plagiats beschuldige, aber auch selbst einen Fälschungsversuch gemacht habe. Diesen hatte Gerhardt entdeckt (Die Entdeckung der Differentialrechnung durch Leibniz. Halle 1848, S. 32). Er besteht darin, daß in dem in Hannover befindlichen, von Gerhardt zuerst veröffentlichtem Manuskript, in welchem Leibniz zum ersten Male die Formel $\int y\,dy = \frac{y^2}{2}$ geschrieben hat, die ursprüngliche 5 der Jahreszahl in eine 3 umgeändert ist. Mit Recht hat Gerhardt in seinem späteren größeren Werke diese doch gewiß keine Beweiskraft besitzende Tatsache gar nicht erwähnt. Wissen wir doch weder, wer die Veränderung vornahm, noch was ihr Zweck war, es ist also gewiß nicht statthaft, die Korrektion einem geschichtlichen Aktenstück gleich zu achten. Wer ferner die von Leibniz hinterlassenen Papiere durchstöbert, der findet ja zu öfteren Malen Bemerkungen, die ruhmredig wären, wenn sie nicht Leibniz nur für sich, wohl um den ihnen von ihm beigelegten Wert hervorzuheben, gemacht hätte, seine Druckschriften zeigen derartiges nicht. Ihm endlich daraus einen Vorwurf zu machen, daß er Newton und seinen Leuten die von ihnen zuerst erhobene Beschuldigung des Plagiats zurückgibt, wie dies Cantor tut, ist vollends nicht gerechtfertigt. Verlangt man denn von Leibniz, daß er alle auf ihn gehäuften Beschuldigungen, alle ihm erteilten Schläge ruhig hätte hinnehmen und nur durch wiederholte zahme Darstellungen der Sachlage die von seinem Rechte zu überzeugen hätte versuchen sollen, die, wie er genugsam erfahren hatte, davon nicht zu überzeugen waren? Er hat sich mit denselben Waffen gewehrt, mit denen er angegriffen wurde, und es erscheint ungerecht, ihm das Recht der Verteidigung verkümmern zu wollen, das man Galilei voll zugesteht, das keiner von zwei streitenden Parteien vorenthalten zu werden pflegt. Wann wird man endlich dahin gelangen, dem großen Mathematiker die gerechte Anerkennung zuzugestehen, die er in so hohem Maße verdient!

diesem geleisteten Widerstande [1]) sah, den er sich aus dessen Zähigkeit und Dichtigkeit und der Reibung zusammengesetzt dachte [2]). Die physikalische Erklärung dieses Vorganges oder der auf dasselbe hinauskommenden Übertragung der Bewegung konnte Leibniz aber mit Huygens nur in einer Stoßwirkung sehen. Legte er aber dabei die Übertragung des Konatus in der absolut flüssigen Materie zugrunde, so ergab sich dieser als unbegrenzt, und sah er sie im Widerstande absolut fester Teilchen, so mußte er auf ein allmähliches Erlöschen der Wirkung schließen [3]). So blieb ihm nichts übrig, „als die Schätzung der Kräfte unter Annahme des metaphysischen Prinzips: daß die Gesamtwirkung stets gleich ist ihrer vollen Ursache" [4]). Indem er aber die lebendige Kraft auch die Potentia, das Wirkungsvermögen nannte, führte er den Begriff ein, dem Rankine 1855 den Namen der Energie gegeben hat. Ein solches Vermögen schrieb er nicht nur einem bewegten Körper, sondern auch einem gehobenen Gewichte oder einem gespannten Körper zu. Wenn aber, so schloß er weiter, die nach außen wirkende Kraft verschwinde, so müßten die kleinsten Teilchen der Körper in Schwingungen geraten. „Dasjenige," sagt er [5]), „was durch die kleinsten Körperteilchen aufgenommen wird, ist durchaus nicht schlechthin für das Universum verloren, obwohl es von der Summe der lebendigen Kräfte der aufeinandertreffenden Körper in Abzug gebracht werden muß." So finden wir bei Leibniz das Prinzip der Erhaltung der Energie, welches Gassendi und Huygens nur geahnt hatten, klar ausgesprochen und nur [6]) „seine noch mangelhafte Kenntnis der verschiedenen Energieformen und der zwischen ihnen bestehenden Beziehungen" unterscheidet ihn noch von Robert Mayer und dessen Zeitgenossen. Freilich hat Leibniz seine Untersuchungen darüber nicht veröffentlicht, nur in Briefen gelegentlich ausgesprochen,

---

[1]) Newton, Principia Philosophiae. Lib. II, Prop. I, Theor. I, Ed. Altera, T. II. Colonia Alobrogum. 1760, S. 17 ff.

[2]) Ebenda Prop. XIV, Theor. XI. Scholium, S. 141.

[3]) Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Bd. II, S. 477.

[4]) Leibniz, Dynamica de Potentia et legibus Naturae corporeae. Gerhardt, Leibnizens mathematische Schriften. Bd. 6. Halle 1860, S. 437.

[5]) Leibniz, Essay de Dynamique. Gerhardt a. a. O. S. 231. Ce qui est absorbé par les petites parties n'est point perdu absolument pour l'univers, quoyqu'il soit perdu pour la force totale des corps concourans.

[6]) A. E. Haas, Die Begründung der Energetik durch Leibniz. Annalen der Naturphilosophie Bd. VII, 1901, S. 386.

ein Anteil an dem durch Aufstellung dieses Prinzips bewirkten Fortschrittes der Naturwissenschaft kommt ihm also nur in beschränktem Maße zu.

Neben diesen theoretischen Arbeiten hat er sich aber auch früher, bereits im Jahre 1673 mit der angewandten Mathematik beschäftigt. Angeregt durch Pascals Rechenmaschine, die freilich nur addieren und subtrahieren konnte, suchte er eine vollkommenere herzustellen, welche auch große Zahlen miteinander multiplizieren und durcheinander dividieren, ja Quadrat- und Kubikwurzeln ausziehen konnte. Ein Modell seines Planes, welches er anfertigen ließ, erregte in Paris und London großes Aufsehen [1]), aber erst 1695 gelang es ihm, eine größere Maschine durch Arbeiter, welche er zu diesem Zwecke nach Hannover kommen ließ, bauen zu lassen [2]). Sie scheint indessen nicht allen Anforderungen genügt zu haben, denn Leibniz wandte sich wegen ihrer Reparatur an den Professor Rudolf Christian Wagner in Helmstedt, der ihm unter dem Datum des 29. Juli 1701 berichtet, daß er die Maschine nachgesehen und gereinigt habe. Ihm scheint er dann den Bau einer neuen Maschine übertragen zu haben, der freilich infolge der Unzuverlässigkeit der Arbeiter auf Schwierigkeiten stieß. Wenigstens redet Wagner am 6. Juni 1704 von kleineren und einer größeren Maschine und berichtet am 3. Juli 1711, daß der mit den Arbeiten an ihnen beschäftigte Arbeiter entlaufen sei. So blieb diese zweite Maschine unvollendet, ebenso wie wahrscheinlich diejenige, welche er mit Hilfe des Hofpredigers Gottfried Teuber seit 1711 für Peter den Großen bauen ließ. 1716 scheint sie noch nicht vollendet gewesen zu sein, obwohl Leibniz selbst um ihretwillen nach Zeitz gereist war [3]). Das jetzt noch in Hannover vorhandene Exemplar wurde 1764 an Kästner nach Göttingen gesandt, der sie in den Stand setzen sollte, aber damit nicht zurecht kam. Dort war sie fast vergessen, bis sie in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts nach Hannover zurückgebracht wurde.

Weniger eingehend, aber doch mit bestem Erfolg hat sich Leibniz auch mit physikalischen Fragen beschäftigt. Unter ihnen war es namentlich das Licht, welches sein Interesse auf sich zog. Doch ist er nicht über

---

[1]) Guhrauer, Gottfried Wilhelm Freiherr von Leibnitz, Bd. I. Breslau 1846, S. 113.

[2]) Ebenda Bd. II, S. 115.

[3]) Ebenda Bd. II, S. 275.

die Anschauungen Des Cartes' und Newtons hinausgekommen. So unbequem ihm offenbar sich die daraus ergebende Folgerung war, daß die Geschwindigkeit des Lichtes im optisch dichteren Mittel größer als im optisch dünneren sei[1]), so hat ihn dies doch nicht bewegen können, sich der Huygensschen Wellentheorie anzuschließen. Größer war der Fortschritt, den er in den Anschauungen vom Wesen des Schalles über seine Vorgänger machte, nachdem er sich von der Unterstellung eines Äthers von gröberer Beschaffenheit als des Lichtäthers, der er, wie wir sahen, anfangs anhing, frei gemacht hatte. Er sah das Wesen des Schalles in Luftschwingungen, ist aber zur Veröffentlichung seiner einschlägigen Arbeiten nicht gekommen. Da er sie aber 1684 oder bald darauf niederschrieb[2]), so ist es möglich, daß ihn Newtons Behandlung des Schalles in den Prinzipien[3]) dazu anregte. Wie Huygens in seinem 1690 veröffentlichten Traité de la Lumière[4]), sieht Newton ihn in Verdichtungen und Verdünnungen der Luft, die aufeinander folgen, ohne aber ebensowenig, wie dieser, die Mechanik des Vorganges ausführlich zu entwickeln. Sie zuerst erschöpfend dargestellt zu haben, ist das Verdienst Leibnizens, der dazu von der Tatsache des Mitschwingens gleichgestimmter Saiten ausging[5]). Er wandte dabei die Methode an, deren sich die beiden Schüler von Wallis, William Noble (gest. 1681) und Thomas Pigott (gest. 1686), bereits 1677 bedient und dabei die Obertöne entdeckt hatten[6]), eine Entdeckung, die der Pariser Professor Joseph Sauveur (1653 bis 1716) ebenfalls, wie es scheint, selbständig machte, aber erst 1701 veröffentlichte[7]). Er wies die Schwingungsknoten in der Weise, wie dies jetzt noch geschieht, mit Hilfe aufgesetzter Papierreiterchen nach oder indem er eine Gänsefeder daran hielt, ein Verfahren, welches Leibniz einem Abbas Bertheo zueignet. Auch das Zerschreien

---

[1]) Gerland, Leibnizens nachgelassene Schriften usw. Leipzig 1906, S. 37 ff. Vgl. auch Gerland, Leibnizens Arbeiten auf physikalischem und technischem Gebiet. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1909, Bd. 53, S. 1308.

[2]) Gerland, Leibnizens nachgelassene Schriften S. 35.

[3]) Newton, Principia Philosophiae. Lib. II, Sectio VIII, T. II, S. 340 ff.

[4]) Huygens, Abhandlung über das Licht. Ostwalds Klassiker, Nr. 20. Leipzig 1890, S. 17.

[5]) Gerland, Leibnizens nachgelassene Schriften, S. 10 ff. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 53, 1909, S. 1308.

[6]) Wallis, Philosophical Transactions 1677.

[7]) Sauveur, Mémoires de l'Académie Royale de Paris 1701.

von Gläsern wurde damals viel geübt und untersucht. Im Jahre 1744 entdeckte dann der Lobensteiner Organist Georg Andreas Sorge (1703 bis 1778) die Kombinationstöne [1]; seine diese Entdeckung enthaltende Schrift wurde aber kaum beachtet, und so wurden sie erst 1754 durch den Violinvirtuosen und Komponisten Joseph Tartini (1692 bis 1770) [2] bekannt, nach dem sie oft zu Unrecht noch genannt werden.

Auf dem Gebiete der Elektrizität ließ Leibniz ein glücklicher Zufall den elektrischen Funken entdecken. Bei der Abfassung seiner Hypothesis physica nova hatte er die Erfahrungen Otto von Guerickes mit dessen Luftpumpe benutzt und war bei dieser Gelegenheit mit ihm in Briefwechsel getreten. Guericke hatte ihm dann Mitteilung von seinen Versuchen mit der Schwefelkugel gemacht und auf dessen Bitte dem damaligen kurmainzer Rat eine solche übersandt. Mit ihr hatte Leibniz sogleich Versuche angestellt und am 31. Januar 1672 darüber nach Magdeburg berichtet. Ist uns nun auch dieser Brief nicht erhalten, so geht sein Inhalt aus Guerickes Antwort vom 1. März des nämlichen Jahres mit voller Sicherheit hervor. Der Magdeburger Bürgermeister wundert sich darüber, daß Leibniz bei diesen Versuchen Wärme und Funken beobachtet habe. Wärme, schreibt er, habe er niemals verspürt, unter dem Funken sei aber wohl das Leuchten zu verstehen, welches die Kugel bei der Reibung an der aufgelegten Hand von sich gebe. Demnach scheint es, als habe Leibniz die Kugel rascher gedreht oder drehen lassen als Guericke, dadurch beim Reiben mit der Hand fühlbare Wärmewirkung und damit die für das Auftreten des Funkens nötige Spannung erzielt, während dieser die Kugel nur leuchten sah [3].

Gegen die Wende des 17. Jahrhunderts kam sodann Leibniz auf die Idee, ein Barometer ohne Quecksilber herzustellen. Am 21. Juni 1697 teilte er seinen Plan Papin mit, ausführlicher aber am 3. Februar an Johann Bernoulli, dem er schrieb [4]: „Ich habe zuweilen

---

[1]) Sorge, Anweisung zur Stimmung und Temperatur. Hamburg 1744.

[2]) Tartini, Trattato di musica, secondo la vera scienza dell'armonia. Padova 1754.

[3]) Gerland, Über Otto von Guerickes Leistungen auf elektrischem Gebiete. Elektrotechnische Zeitschrift Bd. IV, 1883, S. 249.

[4]) Gerhardt, Leibnizens mathematische Schriften, Bd. III, 2. Abt. Halle a. S. 1856, S. 692: Cogitari aliquando de barometro portabili, quod includi the-

an ein tragbares Barometer gedacht, welches in einem einer Uhr ähnlichem kleinen Behälter eingeschlossen werden könnte. Quecksilber soll dabei nicht zur Verwendung kommen, statt dessen eine Art Blasebalg, welchen das Gewicht der Luft zusammenzudrücken sucht, während er durch die Kraft irgendeiner elastischen Feder Widerstand leistet." Damit ist die Idee des Aneroidbarometers in ganz unzweideutiger Weise gegeben, und sie wäre damals bereits wohl ausführbar gewesen, da Papin kurz vorher ein Verfahren, Leder durch Kochen in Öl luftdicht zu machen, gefunden und Leibniz mitgeteilt hatte [1]).

g) Leibnizens Arbeiten auf technischem Gebiet.

Neben Leibnizens Entdeckung des Prinzips der Erhaltung der Energie tritt die Entdeckung eines anderen für die angewandte Mechanik überaus wichtigen Prinzips, dessen Anwendung man Watt immer zum Ruhme angerechnet hat, das Prinzip der zeitweiligen Unabhängigkeit einzelner einander bewegender Teile einer Maschine. Genau genommen reicht freilich seine Anwendung bereits bis in das 14. Jahrhundert, denn bei den Uhren mit Horizontalpendel war es bereits verwirklicht und demnach auch bei den Pendeluhren von Galilei und Huygens benutzt. So war es denn auch ein Uhrwerk, dessen nach Art der Unruhen gebildetes Pendel in jeder Lage isochron schwingen sollte, an dem es Leibniz zur Ausführung zu bringen gedachte. Erdacht hatte er das Werk bereits vor dem Jahre 1670, er teilte es 1675 öffentlich mit [2]), als Huygens mit der gleichen Erfindung hervorgetreten war. Die schwingende Unruhe sollte abwechselnd auf eine von zwei Federdosen wirken, von denen sie, ihre lebendige Kraft verbrauchend, die eine spannt, während gleichzeitig die andere ihre Spannung verliert. Sie war zu diesem Zwecke an ihrem Umfange mit einem unterbrochenen Zahnkranze versehen, dessen Zähne in die am Umfange der Federdosen angebrachten eingreifen konnten. Indem die Federdosen einander gegenüber zu beiden Seiten der Un-

---

culae in horologii forma posset, sed mercurio caret et ejus officio fungitur follis, quem pondus aëris comprimere conatur, elastro aliquo chalibeo resistente.

[1]) Gerland, Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin nebst der Biographie Papins. Berlin 1881, S. 263.

[2]) Leibniz, Sur le principe de justesse des Horloges portatives de son Invention. Journal des Sçavans de l'An 1675. Amsterdam 1677, S. 96.

ruhe aufgestellt waren, griffen immer nur die Zähne der einen in die der Unruhe, und da sich mit den ersteren zugleich zwei Balanciers in horizontalen Ebenen hin und her bewegen mußten, so war ihr gleichmäßiger Gang gesichert. Bei der viel einfacheren Huygensschen Anordnung kann es freilich nicht verwundern, daß sich ihr gegenüber Leibnizens Vorschlag nicht behaupten konnte. Daß er aber in ihr das obige Prinzip mit Bewußtsein und nicht, wie bei den sonstigen Pendeluhren, diejenigen von Huygens nicht ausgenommen, nur als sich zufällig mit ergebend anwendete, beweisen die Vorschläge, die er für den Betrieb von Schachtpumpen durch die Kraft des Windes machte.

Dem Herzog von Hannover gehörte ein Teil der Bergwerke des Oberharzes, aus denen mit Hilfe von Wasserkraft die zudringenden Wasser beseitigt wurden. Als nun Leibniz in die Dienste des ihm befreundeten Fürsten trat, machte sich ein recht unliebsamer Mangel an Aufschlagwassern geltend. In gewohnter Weise bestrebt, der Allgemeinheit zu nützen, erbot er sich[1], „für Wasser nötige Zeiten mit einer avantageusen Invention dem Bergwerke zu Hilfe zu kommen und vermittelst der Konjunktion des Windes und des Wassers zu Sumpfe zu halten.“ Daß er sich dabei eine „gewisse wirkliche Erkenntlichkeit“ ausbedingte und als solche auch die für die damalige Zeit sehr beträchtliche Summe von 1200 Rthl. zugesichert erhielt, gereicht ihm nicht zum Vorwurf, da zu seiner Zeit die Auszahlung der Gehalte recht unsicher war und er stets Mittel zu Unterstützung Bedürftiger und zur Ausführung seiner, weil sie stets ins Große gingen, kostspieligen Versuche sich zu verschaffen suchte. Absichtlich hatte er in den obigen Worten seinen eigentlichen Plan verhüllt, der in nichts anderem bestand, als das von den Rädern abfließende Wasser mittels Pumpen, welche durch Windmühlen getrieben wurden, wieder auf ein höheres Niveau zu heben und von da wieder auf die Räder fallen zu lassen. Als ihm nun die Erkenntlichkeit zugesichert war, fand man von Seiten der Bergbehörde die Sache zu einfach, als daß man geneigt gewesen wäre, dafür das Bergwerk so hoch zu belasten. Man berief sich also darauf, daß sein Anerbieten nur so zu verstehen gewesen sei, daß er anstatt durch Wasserräder die Pumpen mittels Windmühlen habe treiben wollen und forderte von ihm die Lösung dieser Aufgabe, die alle Keime des Mißlingens in sich trug. Trotzdem verstand sich Leibniz dazu

[1]) Von Trebra, Bergbaukunde, Bd. I. Leipzig 1789, S. 305.

und gab, seiner Zeit weit voraneilend, die Mittel an, die auch jetzt noch im Bergbau, allerdings zum Teil zu anderen Zwecken, stets angewendet werden, für die aber damals die technischen Hilfsmittel und die Vorbildung der Arbeiter nicht reichten.

Um die Geschwindigkeit der Pumpen bei wechselnder Windgeschwindigkeit möglichst gleichmäßig zu erhalten, wollte er, wie er am 26. Januar 1680 an Huygens schrieb [1]), es so machen, „daß sich die Windmühlenflügel ein wenig drehen und schief stellen können, wenn der Wind zu stark wird, ohne daß deshalb das sie tragende Kreuz seine Lage änderte," wollte also dasselbe Mittel verwenden, welches Werner Siemens zur Regulierung der Telegraphenapparate benutzt hat, nur daß Leibniz den Druck der Luft als Antrieb, Siemens ihn als Bremsmittel verwenden wollte. Für die Schachtpumpen aber erdachte er das Mittel, das jetzt bei den Fördermaschinen angewendet wird, um den Durchmesser der Seiltrommel, also die Länge des die Last tragenden Hebels entsprechend zu verändern. Es besteht darin, daß die Trommel die Form eines abgestumpften Kegels erhält, außerdem versah sie Leibniz mit Stiften, so daß die um die Treibwelle gelegte Kette bei größerer Windgeschwindigkeit auf einen größeren Halbmesser geschoben werden kann. Jenes oben erwähnte Prinzip der zeitweiligen Unabhängigkeit der Maschinenreile voneinander aber brachte er auch hier in bewunderungswürdiger Weise in Anwendung, indem er Räder mit unvollständigem Radkranze anordnete und dafür sorgte, daß das Getriebe mit ihnen nur dann zum Eingriff kam, wenn der von ihnen angetriebene Hebel den niedrigsten Stand erreicht hatte. Dieser schönen Erfindung aber fügte er die ungleich wichtigere des Gewichtsakkumulators zu. Nicht das Wasser sollte durch die Kraft des Windes gehoben werden, sondern ein Gewicht, welches, wenn es die entsprechende Höhe erreicht hatte, dem Einfluß der bewegenden Kraft entzogen wurde und immer mit der nämlichen Geschwindigkeit herabsinkend den Pumpenkolben hob. So konnte das Pumpen stets mit der nämlichen Geschwindigkeit geschehen, während die Pausen zwischen den einzelnen Hüben verschieden lang sein konnten.

Wie aber Leibniz keine Aufgabe liegen ließ, ehe er sie nicht zu voller Klarheit gebracht hatte, so blieb er auch nicht bei den Trieb-

[1]) Huygens, Oeuvres complètes, T. VIII. La Haye 1899, S. 268. que les ailes du moulin se tournent un peu et s'inclinent, quand le vent devient trop fort, sans que pour cela le croix qui porte les ailes change de place.

werken stehen, sondern wandte seine Aufmerksamkeit auch den Teilen zu, die den Antrieb zu erfahren hatten. Da er einsah, daß das Fördern wie das Pumpen mit viel größerem Vorteil geschehen könne, wenn man die bei der Umkehr notwendigen Verluste an lebendiger Kraft vermied, so entwarf er eine Fördertonne, die an einem Seil ohne Ende befestigt und selbsttätig gestürzt werden konnte, gab eine Pumpe an, die beim Hin- und Hergang des Kolbens Wasser hob und später als doppeltwirkende Gebläsemaschine noch einmal erfunden wurde. Da ferner die Kolbenreibung unnütz Kraft vernichtete, so suchte er diese wegzuschaffen und blieb schließlich bei einer Anordnung stehen, bei der jede Dichtung vermieden war, dem Rückfallen des Wassers aber wie bei der antiken Feuerspritze durch ein sich nach oben öffnendes Ventil vorgebeugt wurde, welches am unteren Ende des Steigrohres angebracht war[1]). Eine kontinuierlich wirkende Pumpe hatte 1716 auch La Hire der jüngere angegeben[2]), doch scheint Leibniz seine Erfindung viel früher, wohl zur Zeit, als er sich mit den Aufgaben des Bergbaues beschäftigte, gemacht zu haben. La Hires Pumpe hatte zudem zwei Eingangs- und Ausgangsröhren mit den nötigen Ventilen, Leibnizens Pumpe mit ihrem einfachen Ausgangsrohr dürfte also jedenfalls der La Hires überlegen gewesen sein.

Auch auf anderen Gebieten der Technik hat er mit Glück gearbeitet, auf diesem schlug aber die fortschreitende Wissenschaft andere Wege ein. So haben seine Arbeiten über Schiffahrt keinen Erfolg gehabt, aber auch die Modelle für Lastwagen, die dadurch auf erweichtem Boden fahren sollten, daß sie sich selbsttätig breite Schienenflächen zur Aufnahme der Räder hinlegten, haben die auf sie verwendete Mühe nicht gelohnt. Dagegen brachten sie ihm den Spott des als Alchymisten bekannten Johann Joachim Becher ein, der sich dafür, daß ihm Leibniz eine Gaunerei, die er vorhatte, vereitelte, dadurch rächte, daß er ihm die Erfindung eines Postwagens, in dem man in sechs Stunden von Hannover nach Amsterdam fahren könne, andichtete[3]).

Alle diese Arbeiten Leibnizens fallen noch in das 17. Jahrhundert. Im Jahre 1692 war er mit Papin in Briefwechsel getreten

---

[1]) S. hierüber Gerland, Leibnizens nachgelassene Schriften usw., S. 146 ff., sowie meine Arbeiten in Berg- und Hüttenmännische Zeitung von 1898 und 1900 und in Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1909.

[2]) La Hire, Histoire de l'Académie française. Paris 1716, S. 322.

[3]) Leibnizens nachgelassene Schriften, S. 242.

und hatte seitdem dessen Versuche mit größtem Interesse verfolgt. Vor allem brachte er dies der Erfindung und Verbesserung der Dampfmaschine entgegen. Daß er dabei kein teilnahmsloser Zuschauer war, haben wir gesehen. War er es doch, der als erster den Vorschlag der Selbststeuerung der Maschine machte, der zu einer Verbesserung aufforderte, welche die Erfindung der kalorischen Maschine in sich barg. Sind nun auch alle die schönen Entwürfe Leibnizens entweder unausgeführt geblieben oder bei der Ausführung mehr oder weniger verunglückt, so lag die Schuld daran nicht an ihm. Ausdauer bei der Überwindung der Schwierigkeiten hat er wie kaum ein anderer bewiesen, und wenn man bedenkt, daß diese Arbeiten doch nur ein kleiner Bruchteil von denjenigen war, die er uns hinterlassen hat, dann wird man wohl die noch an seinem Nachruf haftenden Vorurteile fallen lassen müssen und in ihm einen der größten Genien sehen müssen, von denen die Geschichte der Wissenschaft zu berichten hat.

7. Auf den Spuren von Newton und Leibniz.

a) Mechanik und Konstitution der Körper.

Leibniz war völlig vereinsamt gestorben, ohne wie Newton eine Schule gebildet zu haben. Trotzdem trug seine Lehre zunächst in hervorragendster Weise zur Fortbildung der Wissenschaft bei. „Die Newtonschen Prinzipien," sagt Mach[1]), „sind genügend, um ohne Hinzuziehung eines neuen Prinzips jeden praktisch vorkommenden mechanischen Fall, ob derselbe nun der Statik oder der Dynamik angehört, zu durchschauen. Wenn sich hierbei Schwierigkeiten ergeben, so sind dieselben immer nur mathematischer (formeller) und keineswegs mehr prinzipieller Natur." So knüpfte die Forschung zunächst an Leibnizsche Anschauungen an, die analytische Mechanik wurde je länger je mehr ein Teil der höheren Mathematik. Vor allem waren es Schweizer Gelehrte, die Bernoullis, welche zum Teil im Wettstreit mit Leibniz dessen Lehre vertieften. Die Familie stammte aus Antwerpen, von wo sie nach 50 jährigem Aufenthalt in Frankfurt a. M. nach Basel übergesiedelt war. Hier war Jakob Bernoulli 1655, sein Bruder Johann 1667 geboren. Beide traten mit Leibniz in Briefwechsel und stellten im Wettbewerb mit ihm Aufgaben, welche

---

[1]) Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt. 6. Auflage. Leipzig 1908, S. 303.

die verschiedensten Kurven betrafen. Aber auch mit dem Problem des Äthers haben sich beide beschäftigt.

An ihre mechanischen Untersuchungen schlossen sich die von Johanns Sohn Daniel an, der 1700 in Groningen geboren nach mehrjährigem Aufenthalt in Rußland nach Basel zurückkehrte und dort als Professor 1782 starb. Waren die genannten drei Angehörigen der mathematisch so hochbegabten Familie diejenigen, die deren Ruhm begründeten, so haben doch auch der Bruder Daniels, Nikolaus, und deren Söhne tüchtige Arbeiten auf mathematischem und mechanischem Gebiete geliefert. Aufgaben, die man früher auf synthetischem Wege gelöst hatte, wurden nun analytisch behandelt, und an solchen Arbeiten beteiligte sich nicht als letzter auch der Marquis del'Hôpital (1661 bis 1704), der auch mit Leibniz in eifrigem Briefwechsel gestanden und erfolgreich an der Entwicklung der Differential- und Integralrechnung mitgearbeitet hatte. War er es doch, der den Fehler nachwies, den Jakob Bernoulli begangen hatte, als er die synthetische Methode von Huygens zur Auffindung des Oszillationszentrums durch die analytische zu ersetzen versuchte. Ebenso war es Jakob Bernoulli, welcher das Prinzip zuerst aussprach, das später von d'Alembert allgemeiner gefaßt und nach ihm genannt worden ist. Johann Bernoulli wiederum verdankt die Wissenschaft das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten, aber auch mit dem der Erhaltung der Kraft und der Theorie des physischen Pendels hat er sich beschäftigt. Zur Bestimmung des Oszillationszentrums, wie er sie gab, gelangte übrigens zu der nämlichen Zeit der 1685 bei London geborene, 1731 daselbst verstorbene langjährige Sekretär der Royal Society Brook Taylor, der in der Mathematik hauptsächlich durch die seinen Namen tragende Reihe bekannt geworden ist. Wohl noch vielseitiger als sein Vater und Onkel war Daniel Bernoulli. War auch sein Versuch, den Satz vom Parallelogramm der Kräfte geometrisch zu beweisen, ein vergebliches Bemühen, so stellte er doch den Satz der Erhaltung der Flächen auf und bewies wie sein Vater durch seine Arbeiten über das Prinzip der Erhaltung der Kraft den Einfluß, den Leibniz durch seinen Briefwechsel auszuüben imstande gewesen ist[1]).

---

[1]) Vgl. Heller, Geschichte der Physik, Bd. II. Stuttgart 1884, S. 377 ff.

Alle diese ausschließlich mathematischen Fragen hat dann Euler zu einer einheitlichen Lehre zusammengefaßt[1]) und Newtons geometrischer Darstellung der Mechanik die analytische gegenübergestellt. Leonhard Euler war am 15. April n. St. 1704 in Basel geboren und hatte dort den Unterricht Johann Bernoullis genossen, war dann an die Petersburger Akademie berufen, hatte aber, da durch den Tod der Kaiserin Katharina bei seiner Ankunft die dortigen Verhältnisse völlig geändert waren, eine Anstellung als Schiffsleutnant annehmen müssen, war dann durch Friedrich den Großen an die Berliner Akademie berufen, aber 1766 als Mitglied der dortigen Akademie nach Petersburg zurückgekehrt, wo er, nachdem er erst auf dem einen, dann auf beiden Augen erblindet war, 1783 starb. Abgesehen von seiner präziseren Darstellung der vorhandenen Lehren war es namentlich das Prinzip der kleinsten Wirkung, das er allgemeiner als seine Vorgänger faßte[2]). Hatten es doch Heron für die Reflexion, Fermat und Maupertuis (der 1698 in St. Malo geboren, von 1741 bis 1753 in Berlin als Mitglied der dortigen Akademie der Wissenschaften gelebt hatte, dann nach Frankreich zurückgekehrt und 1759 auf der Rückreise nach Berlin in Basel gestorben war) für die Brechung des Lichtes aufgestellt. Aber auch die Astronomie verdankt Euler wichtige Fortschritte. Er war es, welcher zeigte, wie die durch die gegenseitige Anziehung der Planeten verursachten Bahnstörungen in Rechnung gezogen werden konnten, wie seine Mondtheorie, die ihn auf das Problem der drei Körper führte, zur Längenbestimmung verwendet werden konnte. Diesem Satz fügte 1743 dann Jean le Rond d'Alembert (1717 bis 1783) den nach ihm genannten zu, der in der Fassung, die er ihm gegeben, in Hellers Übersetzung lautet: „Werden den verschiedenen materiellen Punkten oder Körpern eines Systemes Bewegungen eingeprägt, welche vermöge der bestehenden Verbindungen der materiellen Punkte oder Körper eine Änderung erleiden, so ist es klar, daß man diese Bewegungen so betrachten könne, als wären sie aus jenen Bewegungen zusammengesetzt, welche die materiellen Punkte oder Körper des Systemes wirklich annehmen und aus jenen, welche vermöge der Verbindung vernichtet werden.

[1]) Euler, Mechanica sive motus scientia analytice exposita. Petropolitano. 1. Bd. 1736, 2. Bd. 1742.

[2]) Euler, Sur la princip ede la moindre action. Mémoires de l'Académie de Berlin 1751.

Hieraus folgt zugleich, daß die letzteren Bewegungen von der Art sein müssen, daß wenn die materiellen Punkte oder Körper des Systemes von ihnen allein angeregt werden, Gleichgewicht stattfinden müsse"[1]). Dieser Satz ist vielfach anders eingekleidet, von Lagrange (1736 bis 1813) aber namentlich dadurch leichter anwendbar gemacht worden, daß er die dazu nötigen Gleichungen aufstellen lehrte.

Untersuchungen über die Hydrodynamik hatte Daniel Bernoulli unter Benutzung des Satzes von der Erhaltung der Energie angestellt und, nachdem er auf experimentellem Wege die Richtigkeit der erhaltenen Ergebnisse festgestellt hatte, sie 1738 veröffentlicht[2]). Sie erstreckten sich auf die Verminderung des Seitendruckes von Flüssigkeiten, welche sich durch Röhren bewegen, auf die Kraft des Stoßes, den ein gegen eine feste Wand treffender Flüssigkeitsstrahl ausübt, sowie die des Gegenstoßes einer aus einer Öffnung in der Wand eines Gefäßes austretenden Strahles auf dieses. Doch wurden die von ihm erhaltenen Ergebnisse vielfach angezweifelt. Die Verminderung der Druckkraft sich mit großer Geschwindigkeit durch Röhren bewegender Gase hatte indessen bereits 1704 Francis Hawksbee, der um 1713 gestorbene langjährige Experimentator der Royal Society, herangezogen, um das Fallen des Barometers vor und während eines Sturmes zu erklären. Zu diesem Zwecke hatte er mittels der Druckpumpe Luft in einer durch einen Hahn verschließbaren kupfernen Hohlkugel verdichtet, sie durch ein Rohr über das gegen die äußere Luft abgeschlossene Quecksilber im Gefäßbarometer hinweggeführt und dabei dasselbe im Barometerrohr fallen sehen. Wenn nun auch Desaguliers dartat, daß die von Hawksbee gegebene Erklärung nicht haltbar sei, so konnte er sie doch durch eine bessere nicht ersetzen.

Mit mehr Glück als Taylor, die Bernoullis und D'Alembert untersuchte Euler die Formen, die eine transversal schwingende Saite annehmen kann[3]), für deren Schwingungszahl in Abhängigkeit von Spannung, Länge und spezifischem Gewicht der Saite der erstgenannte seine bekannte Formel aufgestellt hatte. Indem Euler seine Untersuchungen auch auf die transversalen Schwingungen von Stäben ausdehnte, leistete er der Lehre von der Elastizität fester Körper

---

[1]) d'Alembert, Traité de Dynamique. Paris 1743, S. 50. Heller, Geschichte der Physik, II. Bd. Stuttgart 1844, S. 408.

[2]) D. Bernoulli, Hydrodynamica. Argentorato 1738.

[3]) Euler, Mémoires de l'Académie de Berlin 1748.

wichtige Dienste. Die mannigfaltigen Formen, welche Platten von verschiedener Gestalt annehmen, wenn sie an bestimmten Punkten mit dem Violinbogen angestrichen werden, untersuchte in großer Vollständigkeit der vom Ertrag seiner Vorträge lebende Ernst Florens Friedrich Chladni (1756 bis 1827) und veröffentlichte die Ergebnisse seiner Untersuchungen in seiner in Leipzig 1802 erschienenen Akustik und in seinen 1817 gedruckten Neuen Beiträgen zur Akustik, bestimmte auch die Geschwindigkeit des Schalles in Gasen, indem er Orgelpfeifen in ihnen ansprechen ließ. Im Gegensatz zu seinen akustischen Arbeiten gelang es Euler nicht, seine Erklärung der Lichterscheinungen aus Ätherschwingungen zur Geltung zu bringen, indem er den Haupteinwand gegen ihre Berechtigung, daß sie die Farben nicht erklären könne, dadurch beseitigen zu können glaubte, daß die Farbe des Lichtes von der verschiedenen Dauer der Lichtschwingungen abhinge. Da man aber im Auge keine Farbenzerstreuung beobachtet hatte, so erklärte er dessen Ausnahmestellung dadurch, daß sie aus der Wirkung der es zusammensetzenden Medien folge, was freilich als stichhaltig nicht anerkannt werden konnte. So gelang es ihm nicht, seine Ansicht gegen die Anhänger Newtons zur Geltung zu bringen, und so mußte das Jahrhundert zu Ende gehen, ohne daß die Undulationstheorie ein allgemeineres Interesse zu erregen imstande gewesen wäre.

Die Anschauungen, die man sich über den Äther gemacht hatte, waren zudem für sie nicht günstig. Jacob und Johann Bernoulli, wie der 1656 in Gouda geborene, nach mannigfach wechselndem Aufenthalt 1725 als Professor in Utrecht gestorbene Nicolaus Hartsoeker gingen in ihren Ätherhypothesen von der des Des Cartes aus, änderten sie aber, wohl von Newton beeinflußt, wesentlich ab [1]). Sie nahmen im allgemeinen einen flüssigen Äther an, in dem die Körpermoleküle sich frei befanden, bei den festen Körpern sich berührend, aber Kanäle zum Eintritt des Äthers offen lassend, bei flüssigen durch den dazwischen befindlichen Äther ganz voneinander getrennt. Die Luftteilchen betrachtete Hartsoeker als hohle Kugeln mit durchbrochener Oberfläche, in welche Ätherteilchen eindringen konnten. Den Äther aber nahm Johann Bernoulli als bis ins Unendliche teilbar an. Wie nun der ältere der beiden Brüder Ber-

[1]) Vgl. Laßwitz, Geschichte der Atomistik. Hamburg und Leipzig, Bd. II, 1890 S. 430 ff.

suche zur Bestimmung des Gewichtes der Luft angestellt hatte, so beschäftigte sich der jüngere mit solchen, die eine Erklärung der Effervescenz oder des Aufbrausens und der Fermentation oder der Gärung geben sollten[1]). Beide treten ein, wenn verschiedene Substanzen gemischt werden, die erstere, wenn ihre Teilchen sehr fein, die letztere, wenn sie grob sind. In jedem Körper aber sollte die flüssige und elastische Luft vorhanden sein und in Flüssigkeiten, wenn sie daran nicht gehindert werden, aufsteigen. Damit aber Effervescenz stattfindet, muß die eine Substanz ein Agens, die andere ein Patiens sein, entsprechend dem später eingeführten Begriff der Säure und des Alkali, deren Atome ihrem Gegensatze entsprechend zwei verschiedene Formen haben.

b) Die Lehrbücher der Physik. Die mechanischen Werkstätten.

Durch Des Cartes war die Betrachtungsweise der Philosophie, der es in erster Linie auf die Aufstellung eines lückenlosen Systems ankam, in die Physik eingeführt, Newton und Leibniz hatten eine mathematische mehr oder weniger an ihre Stelle gesetzt, doch hatte der erstere zugleich die Beweiskraft des Experimentes, auf die Galilei zuerst hingewiesen hatte, zur Anerkennung gebracht und so trat bald an die Seite des ersten Lehrbuches der mathematischen Physik an die Seite von Newtons Principia das der Experimentalphysik, die durch Versuche bestätigten Elemente der Physik von 's Gravesande. Der Zusatz „durch Versuche bestätigt" war neu. Wenn auch Versuche in den Prinzipien und in anderen Werken des 17. Jahrhunderts in nicht geringer Zahl beschrieben waren, so war bisher nie der Schwerpunkt der betreffenden Schrift in sie gelegt worden. Boyles und Guerickes Werke enthielten ja solche in reichlicher Menge, aber der erstere hatte seine damit erhaltenen Ergebnisse nicht zusammengefaßt und das eigentliche Ziel der »Experimenta nova« des letzteren war doch die Darstellung des Weltsystemes. Ebenso war das Buch des Leidener Professors Wolferd Senguerd (1646 bis 1724) wie sein Titel »Philosophia naturalis« bereits angab, trotz der darin beschriebenen Versuche mit der Luftpumpe weit eher die Darstellung

[1]) J. Bernoulli, Dissertatio de Effervescentia et fermentatione. Basileae 1690. Opera omnia. Lausannae et Genevae 1742, T. I, S. 1 ff.

eines Systemes, als eine Experimentalphysik. Schon deshalb konnten diese Werke nicht für Kompendien der Experimentalphysik gelten, weil sie ja immer nur einen Teil der physikalischen Lehren behandelten; dadurch aber, daß 's Gravesande die sämtlichen damals bekannten behandelte, wurden seine „Elemente" zum ersten Lehrbuch der Experimentalphysik im modernen Sinne.

Wilhelm Jacob 's Gravesande war 1688 in 's Hertogenbosch geboren, hatte Jurisprudenz studiert, sich aber gleichzeitig auch mit Physik und Mathematik abgegeben. 1715 war er der Gesandtschaft beigegeben worden, welche die Generalstaaten zur Krönung Georgs I. nach England schickten. Nach Rückkehr der Gesandtschaft blieb er noch ein Jahr in England, wo er mit Newton und dessen Anhängern verkehrte, wurde dann 1717 an die Universität zu Leiden berufen, wo er bis zu seinem 1742 erfolgten Tode Mathematik und Physik lehrte, von 1734 an aber auch noch philosophische Kollegien übernahm [1]). Seine Elemente erschienen 1720 in erster, 1725 in zweiter und 1742 in dritter Auflage. Sie erhielten bald ein Seitenstück in Desaguiliers' 1725 in englischer Sprache erschienenem Lehrbuch der Experimentalphilosophie (A Cours of Experimental Philosophy), das 1736 ins Holländische übersetzt und mit Zusätzen versehen wurde. Jean Théophile Desaguiliers war 1683 in La Rochelle geboren, hatte nach Aufhebung des Ediktes von Nantes sein Vaterland verlassen und sich nach England gewendet, wo er Professor der Physik in Oxford wurde. Er starb 1744 in London. Daß er mit 's Gravesande die Saverysche Dampfmaschine leistungsfähig machte, ist bereits angegeben, hier sei noch zugefügt, daß er nach des letzteren Rückkehr nach Holland selbständig Dampfmaschinen baute, eine 1717 für den Garten Peters des Großen, deren Beschreibung er in sein Werk aufgenommen hat. Bei seinem Interesse für Maschinen beschrieb er auch eine Anzahl anderer, und so enthält sein Werk viel weniger Originalapparate als das von 's Gravesande. Dasselbe gilt von den Schriften seines jüngeren Kollegen Peter van Musschenbroek, dem 1692 in Leiden geborenen Sohne des Mechanikers Johann Joosten van Musschenbroek, der nach längerem Aufenthalt in England 1723 Professor in Utrecht, 1740 Professor in Leiden wurde, wo er 1761 starb. Auch er hat das Seinige getan, Newtons Lehre

[1]) P. S. Ryke, Levenschets van Willem Jacob's Gravesande.

bekannt zu machen. Seine beiden Lehrbücher, Elementa physices und Introductio ad philosophiam naturalem, von denen das erste 1729, in holländischer Sprache als Beginsels der Natuurkunde 1739, das zweite nach seinem Tode erschien, schließen sich mehr an Desaguliers als an 's Gravesande an. Aber auch die Arbeiten der Mitglieder der Accademia del Cimento machte er allgemeiner zugänglich, indem er deren Saggi in lateinischer Übersetzung herausgab[1]). Diese Lehrbücher unterschieden sich, wenn auch ihre Titel die alte Bezeichnung der Philosophia naturalis noch beibehielten, insofern von den früheren, als sie ihre Lehre auf das Experiment zu gründen versuchten, wie denn auch Desaguliers das seine eine Experimentalphilosophie nennt. Indem sie demnach nicht nur über eigene, sondern auch über die Untersuchungen anderer berichten, enthalten sie den Inhalt der physikalischen Kenntnisse ihrer Zeit. Und auch in anderer Hinsicht ist namentlich das Werk 's Gravesandes von besonderem Interesse, als seine prächtigen Kupfer eine große Zahl von Apparaten darstellen, die in einer für die damalige Zeit überraschenden Vollendung ausgeführt worden sind, und das Interesse wächst noch dadurch, daß wir die Abbildungen mit ihren Urbildern vergleichen können. Denn diese sind noch in bester Erhaltung im physikalischen Kabinett der Universität Leiden, zum Teil als Duplikate in der Sammlung des Königlichen Museums in Kassel vorhanden. Ihre Herstellung setzt aber einen so großen Fortschritt der mechanischen Kunst voraus, daß es sich verlohnt, einen Augenblick dabei zu verweilen, ehe wir uns zur eingehenderen Schilderung der physikalischen Kenntnisse im Anfang des 18. Jahrhunderts wenden.

Die Forscher des 17. Jahrhunderts hatten sich ihre Apparate selbst hergestellt, höchstens sich dabei von Handwerkern helfen lassen. Als solche kommen für feinere Arbeiten die Uhrmacher, Goldarbeiter und wohl auch die Zirkelschmiede in Betracht, gröbere mußten die Tischler, der Schmied und der Schlosser verfertigen. Wie nun aber die große Nachfrage nach Uhren und Kompassen eine Zunft der Uhrmacher und Kompaßmacher hervorgerufen hatte, so wurde die immer häufigere Nachfrage nach Luftpumpen und nächstdem nach anderen Apparaten Ursache, daß sich mechanische Werkstätten zur Anfertigung physikali-

---

[1]) Tentamina experimentorum naturalium captorum in Accademia del Cimento. Lugduni Batavorum 1731.

scher Instrumente auftaten, während die optischen wohl noch von den Brillenschleifern geliefert wurden. Die ersten, die nun treffliche Luftpumpen herstellten, waren der Vater und der Onkel Peters van Musschenbroek, sie scheinen die erste mechanische Werkstätte gegründet zu haben. Diese übernahm dann Peters Bruder Jan und von ihm sind nach den in Senguerds Philosophia naturalis enthaltenen Beschreibungen eine ganze Reihe von Luftpumpen angefertigt, wie die große Anzahl der noch von ihnen vorhandenen beweist. Ja, die Werkstätte gab auch bereits ein Preisverzeichnis heraus, das Peter van Musschenbroek der holländischen Ausgabe seiner Elementa Physices zufügte. Wie vortrefflich die Arbeiten dieser ersten größeren mechanischen Werkstätte waren, zeigen die Apparate 's Gravesandes, dem zudem die schönen Thermometer Fahrenheits zur Verfügung standen. Nach ihrem Vorbilde wurden sehr bald neue ins Leben gerufen, von denen nur diejenige Leupolds (1674 bis 1727) in Leipzig deshalb erwähnt sein mag, weil ihr Gründer in den neun Bänden seines 1723 begonnenen Theatrum Machinarum eine große Zahl der zu seiner Zeit im Gebrauche befindlichen Instrumente und Maschinen beschrieben hat [1]). Daß aber gerade in Holland eine derartige Werkstätte entstehen und sich halten konnte, obwohl sie nicht durch eine Akademie unterstützt wurde, erklärt sich nach van Musschenbroek [2]) durch das Auftreten von Gesellschaften, die sich die Pflege der Physik namentlich durch Vorträge angelegen sein ließen, in allen größeren Städten Hollands. Desaguiliers hat dort viele gehalten, und diese hatten van Musschenbroek zur Ausarbeitung seiner physikalischen Anfangsgründe bewogen.

Die Betrachtung der Apparate 's Gravesandes ergibt nun, welche physikalischen Tatsachen man in seiner Zeit in den Vorlesungen bereits vortrug. Nicht wenige von ihnen gehören auch jetzt noch zu deren eisernem Bestand. Zunächst begegnen wir den die Wirkungen der Kapillarität erläuternden, unter einem ganz spitzen Winkel aneinander gelegten Glasplatten [3]), zwischen denen, wenn sie in eine Flüssigkeit gestellt werden, diese in Form einer Hyperbel emporsteigt, und den,

---

[1]) Vgl. Gerland, Das Handwerk in der Geschichte der Physik. Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und Technik. Bd. I, 1909, S. 55.

[2]) Van Musschenbroek, Beginsels der Natuurkunde. Im Anfang der Vorrede.

[3]) 's Gravesande, Physices Elementa, 3. Ed., T. I, S. 20 und 26.

wie sie Hawksbee 1713 zuerst verwendet hatte [1]), denselben Zweck verfolgenden kommunizierenden Röhren von ganz verschiedenem Durchmesser, dem Doppelkegel, der scheinbar den Berg hinaufrollt [2]), und dem Apparat, welcher die Gleichgewichtsbedingung eines zwischen zwei Rollen beweglichen Keiles mittels zweckmäßig angebrachter Gewichte bestimmen läßt [3]). Ein Tisch, in dessen erhabenem Rande Rollen zur Aufnahme von Gewichte tragenden Schnüren gelagert werden können, zeigt, daß am Hebel für den Fall des Gleichgewichtes die Summe der statischen Momente Null sein muß [4]) und läßt zugleich die Richtigkeit des Satzes vom Parallelogramm der Kräfte nachweisen, welcher Nachweis auch für drei Kräfte mittels einer über zwei Rollen gehenden Schnur, an deren Enden und Mitte die entsprechenden Gewichte aufgehängt werden, geliefert wird [5]). Die Parabelform der Bahn eines mit einer erteilten Geschwindigkeit der Wirkung der Schwere überlassenem Körper wird durch Ringe bezeichnet, durch die er sich hindurchbewegt [6]). Eine mächtige doppelte Zentrifugalmaschine ließ die Wirkungen der Zentrifugalkraft zeigen [7]), die Gesetze des Stoßes aber konnten durch sorgfältig ausgeführte Maschinen erschöpfend experimentell nachgewiesen werden [8]).

Den Satz vom sogenannten hydrostatischen Paradoxon wies er in der nämlichen Weise nach, wie dies in den modernen Lehrbüchern auch noch geschieht, dabei beugte er der Schwierigkeit der Dichtung dadurch vor, daß er große Wassermengen verwendete, und daß er als Dichtung eine Platte geölten Kalbsleders, die einige Tage lang in Wasser mazeriert war, benutzte. Das archimedische Prinzip bewies er, indem er den Gewichtsverlust eines massiven Zylinders, der unter einem ihn gerade aufnehmenden Hohlzylinder aufgehängt war, in Wasser bestimmte und zeigte, daß er dem Gewichte des den Hohlzylinder gerade ausfüllenden Wassers gleich war, oder indem er einen festen Zylinder in ein an den Wagebalken gehängtes Gefäß mit Wasser tauchte und nach Wegnahme des Zylinders das Gleichgewicht wieder herstellte, indem er den von ihm eingenommenen Raum durch Wasser ersetzte [9]).

---

[1]) Hawksbee, Philosophical Transactions 1713, Nr. 355, S. 739.

[2]) 's Gravesande a. a. O. S. 57.

[3]) Ebenda S. 65. — [4]) Ebenda S. 80.

[5]) Ebenda S. 83 und 85. — [6]) Ebenda S. 145.

[7]) Ebenda S. 153. — [8]) Ebenda S. 213 ff.

[9]) Ebenda S. 412 und 424.

Die Größe des Auftriebes zeigte er, indem er, wie dies auch jetzt noch geschieht, einen oben und unten offenen Glaszylinder mit seinem unteren Rande auf eine aufgeschliffene Messingplatte setzte und dann soviel Wasser in ihn hineingoß, bis es die Höhe des äußeren Wasserspiegels erreichte und die Platten zum Abfallen brachte [1]. Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten benutzte er Hawksbees [2] Verfahren, eine mit Schrot gefüllte geschlossene Glaskugel von bekanntem Gewicht erst in Wasser und dann in der zu prüfenden Flüssigkeit zu wiegen und den Quotienten der beiden Gewichtsverluste zu bilden. Die Güte der damals zur Verfügung stehenden Wagen, die sich aus der Beschreibung der von Leutmann benutzten ergibt [3], ermöglichte bereits recht genaue Bestimmungen.

Auch mit der Luftpumpe hat Hawksbee eine Reihe Versuche angestellt und dazu die Papinsche zweistiefelige dahin verbessert, daß die mit Zähnen versehenen Kolbenstangen durch ein mittels einer Kurbel hin und her gedrehtes Getriebe abwechselnd so bewegt wurden, daß der eine Kolben nach oben ging, wenn der andere herabgedrückt wurde [4]. Unter dem viel höher als die Stiefel gelegten Teller befand sich die aus einem in Quecksilber tauchenden, oben und unten offenen Glasrohr bestehende Barometerprobe, welche im 18. Jahrhundert viel verwendet worden ist; die Musschenbroeksche Werkstatt lieferte sie, und Leupold [5] bot sie seit 1713 an. Da die Ventile seiner Pumpe aber nicht gesteuert wurden, so scheint sie weitergehenden Ansprüchen nicht genügt zu haben. Wenigstens ersetzte sie nach dem Zeugnisse von Jan van Musschenbroek [6] s'Gravesande durch eine auf dieselbe Art betätigte zweistiefelige Hahnluftpumpe, deren Hähne mittels eines ⊥-förmigen Eisenstückes von der Kurbelachse aus bewegt wurden. Die optischen Versuche 's Gravesandes sind eine Wiederholung der Newtonschen, nur daß er Sonnenlicht vermittelst eines durch ein Uhrwerk getriebenen Helio-

---

[1] Ebenda S. 426.

[2] Leupold, Theatrum machinarum hydraulicarum 1724, S. 33, Tab. II, Fig. XIV.

[3] Leutmann, Commentarii Petropolitani, II, 1724.

[4] Hawksbee, Experimenta physico-mechanica. Londini 1709.

[5] Leupold, Acta Eruditorum, 1713, S. 95.

[6] Jan van Musschenbroek, Beschreyving der nieuwe Soorten van Luchtpompen, zoo duppelde als enkelde. Leyden.

staten in ein verdunkeltes Zimmer fallen ließ[1]), in welchem er den Gang der Strahlen durch eine Linse[2]), die Brechung im Prisma[3]) und zur Erklärung des Regenbogens in einem Glaszylinder[4]), aber auch die Beugungserscheinungen darstellte[5]). Er benutzte dazu einen Spalt, der mit Hilfe einer Schraube erweitert und verengert werden konnte[6]). Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme zeigte eine Kugel, die kalt durch einen Ring ging, warm darauf liegen blieb[7]), die Spannkraft der Dämpfe eine Äolipile und ihren Rückstoß bewies sie dadurch, daß sie einen kleinen Wagen, auf dem sie befestigt war, fortbewegte[8]). Die Wärmeleitung zeigte er nach dem Vorgange Newtons, indem er zwei Thermometer, das eine in einen ausgebohrten Holzzylinder, das andere in einen ebensolchen aus Marmor setzte, nachdem sie auf gleich hohe Temperatur gebracht worden waren, sie darauf luftdicht abschloß und die verschiedene Geschwindigkeit, mit der sie sich abkühlten, beobachtete.

8. Die Zeit der Ausarbeitung der neuen Ideen.

a) Die Ausbildung der Meßinstrumente und -methoden.

Schon bald nach ihrer Stiftung hatte die Royal Society, wie wir sahen, sich den Plan der Accademia del Cimento zu eigen gemacht, an möglichst verschiedenen Orten meteorologische Beobachtungen vornehmen zu lassen. Sie hatte diesen Plan dahin erweitert, derartige Beobachtungen auch auf die Meere auszudehnen und vorgeschlagen, solche von den Schiffskapitänen machen zu lassen und magnetische und Tiefenbestimmungen mit ihnen zu vereinen. Das hatte Hooke und andere veranlaßt, dazu brauchbare Apparate herzustellen. Neben dem Radbarometer gab Hooke ein, freilich sehr primitives Hygrometer an. Als hygroskopischer Körper diente eine Granne wilden Hafers, deren Bewegung bei wechselnder Feuchtigkeit durch Zahnräder auf einen über einer Kreisteilung spielenden Zeiger übertragen wurde, während Cunning[9]) und Coniers anstatt der hygroskopischen Eigenschaften

---

[1]) Ebenda T. II, S. 731. — [2]) Ebenda T. II, S. 763.
[3]) Ebenda T. II, S. 887. — [4]) Ebenda T. II, S. 915.
[5]) Ebenda T. II, S. 728. — [6]) Ebenda T. II, S. 735.
[7]) Ebenda T. II, S. 661. — [8]) Ebenda T. II, S. 663.
[9]) Cunning, Philosophical Transactions Nr. 127, S. 650.

der Granne die des Holzes benutzten, wie dies später auch Hautefeuille[1]) und Teuber[2]) taten. Gould[3]) und Hales[4]) (1677—1761) benutzten dagegen die Gewichtsvermehrung, jener der Schwefelsäure, dieser eines Schwammes. Die durch die Feuchtigkeit geänderte Drillung eines Hanfseiles dagegen benutzte Molyneux[5]) (1656 bis 1698), und sein Instrument verbesserte Desaguiliers[6]), indem er die von Molyneux an das untere Ende des oben befestigten Seiles befestigte Kugel durch einen Zeiger ersetzte, statt des Seiles aber nahm man bald darauf eine aus zusammengedrehten Darmsaiten hergestellte Schnur und erhielt so Apparate, deren häufige Anwendung der Umstand beweist, daß sie sich wohl in den meisten ältern Sammlungen physikalischer Apparate noch finden. Als Anemometer nahm die Royal Society eine Windfahne mit drehbarer Platte, die der Wind je nach seiner Stärke mehr oder weniger hob und deren Erhebungswinkel an einem Gradbogen abgelesen wurde, vor welchem sich der sie haltende Stiel hinbewegte[7]). Das Ombrometer, welches sie verwenden ließ, bestand aus einer großen Flasche mit aufgesetztem Trichter, den zwei angehängte Bleikugeln gegen den Wind aufrecht erhielten, und war bereits seit 1695 im Gresham College im Gebrauche[8]). Es hatte die größere Einfachheit vor dem bereits 1662 von Wren angegebenen voraus, welches aus einer Reihe Kästen bestand, von denen jeder durch Vermittlung eines Uhrwerks eine Stunde lang unter dem den Regen aufnehmenden Trichter gehalten wurde. Regelmäßige Messungen der Niederschläge, wohl die ältesten, wenn man von denen im Talmud mitgeteilten absieht, hatte übrigens bereits Townley in den Jahren von 1678 bis 1692 angestellt[9]), weitere Apparate sollten dazu dienen, die Tiefe

---

[1]) Hautefeuille, Pendule perpetuelle, Paris 1678. Vgl. Gehler, Physik. Wörterbuch, 2. Aufl., Bd. V, S. 607.

[2]) Teuber, Acta Eruditorum 1687, S. 76.

[3]) Gould, Philosophical Transactions 1683/4, Nr. 156, S. 304. Acta Eruditorum 1685, S. 317.

[4]) Desaguiliers, A course of Experimental Philosophy. Holl. Übersetzung, Bd. II, S. 387.

[5]) Molyneux, Philosophical Transactions 1685, Nr. 172, S. 1032. Acta Eruditorum 1686, S. 388.

[6]) Desaguiliers a. a. O., S. 385.

[7]) Philosophical Transactions 1667, Vol. I, Nr. 24, S. 438.

[8]) Philosophical Transactions 1695/6, Nr. 223, S. 357.

[9]) Vgl. Kaßner, Das Reich der Wolken. Leipzig 1909, S. 96.

der Ozeane zu bestimmen und Wasserproben aus ihnen zu entnehmen. Als Bathometer empfahl die Royal Society eine große Hohlkugel, an welcher eine Bleikugel so befestigt war, daß sie sich löste sobald sie auf den Meeresboden aufsetzte. Die frei gewordene Hohlkugel stieg denn wieder empor, und aus der beobachteten Zeit zwischen ihrem Verschwinden und Wiedererscheinen bestimmte man die Tiefe, welche sie erreicht hatte[1]). Anstatt der Hohlkugel schlug Hales[2]) vor, ein Manometer zu nehmen und den Stand des Quecksilbers, welchen es in der größten Tiefe, als die Bleikugel sich ablöste, in dem mit Luft teilweise gefülltem Rohre erreicht hatte, durch etwas Syrup oder Honig kenntlich zu machen. Die Wasserprobe aber brachte ein parallelopipedisches, oben und unten durch die Platten verschließbares Gefäß, in dem die Platten an einer durch ein Gewicht beschwerten Stange eingelenkt waren, mit nach oben, so daß der Wasserdruck beim Herabsinken die Platten öffnete, beim Aufziehen wieder schloß[3]).

Die Methode von Hales würde brauchbare Ergebnisse geliefert haben, wenn er Vorsorge zur gleichzeitigen Bestimmung der Temperatur getroffen hätte. Zu solchem Zwecke brauchbare Thermometer besaß man aber noch nicht. Zwar ließen die Thermometer Fahrenheits auch in Betreff der Empfindlichkeit nichts zu wünschen übrig, aber sie waren auch in den Kreisen der Royal Society schwerlich eingebürgert, vielmehr hoffte man auf dem von Hooke eingeschlagenem Wege[4]), der ein Rohr von 2 bis 3 Fuß Länge und einem lichten Durchmesser von 0,1 Zoll mit einer 2 Zoll weiten Kugel verband, namentlich für meteorologische Zwecke die wünschenswerte Genauigkeit zu erreichen. Aber auch im Schoße der Pariser Akademie der Wissenschaften dachte man nicht anders, als ihr Mitglied Antoine Ferchault Seigneur de Réaumur es unternahm, die damals üblichen sehr ungenauen Weingeistthermometer durch bessere zu ersetzen. Geboren 1683 in La Rochelle, hat er eine Reihe tüchtiger Arbeiten auf dem Gebiete der Technik geliefert, auch eine Anzahl zoologische und botanische Beobachtungen gemacht. 1708 wurde er Mitglied der

---

[1]) Philosophical Transactions 1667, Vol. I, Nr. 24, S. 438.

[2]) Hales, Philosophical Transactions 1727,8, Vol. 35, Nr. 405, S. 559.

[3]) Philosophical Transactions 1667, Vol. I, Nr. 24, S. 438.

[4]) Huygens, Oeuvres complètes, IV. La Haye 1891, S. 429. Brief von Huygens an Moray vom 11. November 1663 und V. La Haye 1893, S. 138. Brief von Moray an Huygens vom 7. November 1664.

Académie des Sciences und starb 1759 auf seinem Schloße Bermondière in Maine. Trotz der noch unvollkommenen Instrumente hatte man beobachtet, daß beim Auflösen von Salzen eine Abkühlung, beim Mischen von Flüssigkeiten eine Erwärmung eintritt [1]), für die Mischung von Weingeist und Wasser hatte Geoffroy der Jüngere (1695 bis 1752) die letztere bereits untersucht. Réaumur beobachtete nun die dabei zugleich eintretende Kontraktion und verfolgte die Erscheinung mit Hilfe der Hombergschen Dichtigkeitsfläschchen [2]). Die dabei nötigen Temperaturbestimmungen erschienen ihm freilich durchaus ungenügend, denn es wurde zu ihrer Ermittlung ein ein für allemal durch den Druck hergestelltes Papier benutzt, um die Größe der Grade anzugeben, ohne daß auf die Größe der Kugel oder ihr Verhältnis zum Rohre und auf die Gleichmäßigkeit, von dessen Kaliber Rücksicht genommen wurde. Den letzten Übelstand suchte er zuerst zu beseitigen. Da aber eine Kalibrierung der kleinen Thermometer untunlich schien, so nahm er Röhren von 2½ bis 3½ Linien lichtem Durchmesser mit entsprechend großen Kugeln, obwohl er sich über die Unempfindlichkeit so mächtiger Thermometer vollständig klar war. In sie füllte er mittels eines Meßfläschchens gleiche Raummengen Wassers und bezeichnete ihren Stand auf einer hinter dem Rohre angebrachten Platte. In das wieder entleerte Gefäß brachte er dann soviel Weingeist, daß bei Einbringen des Instrumentes in frierendes Wasser seine Oberfläche bis zu einem passend gelegenen, vorher bezeichnetem Punkt der Skala zu liegen kam. War das nicht genau der Fall, so wurde durch Zugießen oder Herausnehmen von etwas Weingeist die nötige Korrektur vorgenommen und so der Nullpunkt der Skala bestimmt. Daß dieser Punkt kein fester sein konnte, da, wie ja Fahrenheit gefunden hatte, eine Unterkühlung des Wassers möglich war, scheint Réaumur nicht gewußt zu haben. Aber hätte er es auch gewußt, so hätte die Berücksichtigung dieses Umstandes die Genauigkeit seiner Bestimmung schwerlich er-

---

[1]) De Réaumur, Règles pour construire des thermomètres dont le dégrez sont comparables. Mémoires de l'Académie de Paris, année 1730, S. 452. Second mémoire sur la construction des thermomètres. Ebenda 1731, S. 250. Übersetzt in Ostwalds Klassikern, Nr. 57, S. 19ff. und 64ff. Vgl. auch Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 289 ff.

[2]) De Réaumur, Essai sur le volume qui resulte de ceux de deux liqueurs mélées ensemble. Mémoires de l'Académie de Paris 1733, S. 165. Ostwalds Klassiker Nr. 57, S. 100 ff.

höhen können, da er den Nullpunkt festlegte, sobald er glaubte, daß die Flüssigkeit im Thermometer ihren niedrigsten Stand erreicht habe. Zudem war die Bestimmung des Siedepunktes, worauf bereits 1736 das damalige Mitglied der Petersburger Akademie der Wissenschaften De l'Isle[1]) (1688—1768) und 1740 George Martine[2]) aufmerksam machten, so ungenau, daß er völlig unbrauchbar erscheinen mußte. Freilich wollte Réaumur auch gar keinen zweiten festen Punkt bestimmen, sondern statt dessen, worauf von Oettingen[3]) aufmerksam macht, „die Flüssigkeit definieren, die allgemein angewendet werden soll und deren relative Ausdehnung die Grade bestimmt". Zu diesem Zweck goß er Weingeist in einen Kolben mit engem Halse oder in eines seiner Riesenthermometer und brachte ihn, indem er das ihn enthaltende Gefäß in ein ebensolches mit Wasser stellte, durch Erwärmen des letzteren zum Sieden. Dann hob er das den Weingeist enthaltende Gefäß heraus und bezeichnete die Stelle an dessen Hals, bis zu der er gestiegen war. Die im Kolben zurückgebliebene Flüssigkeit zeigte nun, da sich ein Teil des Weingeistes verflüchtigt hatte, einen höheren Siedepunkt. Eine mehrfache Wiederholung des Verfahrens ließ erreichen, daß die Flüssigkeit im Kolben oder Thermometer mit dem Wasser des umgebenden Gefäßes ins Sieden geriet. War nun deren Volumen im frierenden Wasser 1000 gewesen, so ergab es sich bei der Siedehitze zu 1080, und so glaubte Réaumur durch Einhalten seiner Vorschriften den Weg zur Herstellung vergleichbarer Thermometer gewiesen zu haben.

De l'Isle suchte dieses Ziel in ungleich zweckmäßigerer Weise zu erreichen, indem er Quecksilber als thermometrische Substanz nahm. So richtig nun auch dieser Weg war, so kam sein Thermometer nicht zu allgemeinerer Verwendung, weil er den Siedepunkt mit 0, den Eispunkt mit 1000 zu bezeichnen vorschlug. Wohl aber erreichte dies der Lyoner Arzt Jean-Pierre Christin, der wie de l'Isle Quecksilber nahm und 1743 die hundertteilige Skala in Frankreich einführte[4]). Hätte er nicht 1740 noch an Réaumurs 80° festhalten zu müssen geglaubt, so würde ihm die Priorität des hundertteiligen Ther-

---

[1]) De l'Isle, Philosophical Transactions 1736, Nr. 441, S. 221.

[2]) Martine, Essays medical and philosophical. London 1740. Vgl. von Oettingen in Ostwalds Klassiker, Nr. 57, S. 128.

[3]) Ebenda S. 127.

[4]) Fr. Burckhardt, Zur Geschichte des Thermometers. Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Basel 1902. Sep.-Abz. S. 64.

mometers zukommen, so muß er sie an den Schöpfer der Systematik in den beschreibenden Naturwissenschaften, an den damaligen Stockholmer Arzt Karl Linné (1707—1778) abtreten. In Schweden hatte sich seit 1740 der Professor der Astronomie in Upsala Andreas Celsius (1701—1744) mit der Verbesserung der Florentiner Thermometer beschäftigt und ebenfalls Quecksilber als die geeignetste thermometrische Substanz verwendet. Er war Mitglied der von Linné 1739 gegründeten [1]) schwedischen Akademie der Wissenschaften geworden und hatte in deren Abhandlungen [2]) 1742 unter dem Titel: „Beobachtungen von zween beständigen Graden auf einem Thermometer" seinen Vorschlag zur Einführung einer zweckmäßigen Skala veröffentlicht, deren feste Punkte der mit 0 bezeichnete Siedepunkt des Wassers und der mit 100 bezeichnete Schmelzpunkt des Eises war, den er freilich für übereinstimmend mit dem Gefrierpunkt des Wassers hielt. Nun war aber auch die umgekehrte Bezeichnung üblich geworden. Denn in den Abhandlungen der Stockholmer Akademie von 1750 findet sich die Bemerkung:[3]) „Des sel. Professors Celsius Thermometer ist dergestalt eingerichtet, daß 0 beim Punkte des siedenden Wassers und 100 beim Punkte des Gefrierens steht; aber an Herrn Prof. Strömers Thermometer steht 0 beim Gefrierpunkt und 100 beim kochenden Wasser." Strömer (1707—1770) war Celsius, Nachfolger an der Universität Upsalas und Mitglied der Stockholmer Akademie, und auf diese Notiz hin hat van Swinden [4]) ihn als den Schöpfer der Zentesimalskala ansehen zu müssen geglaubt. Diese benutzte aber bereits 1740 Linné. Fand doch Burckhardt [5]) in der 1748 geschriebenen Vorrede seines Hortus Upsaliensis die Stelle: „Höchste Kälte 1740 25. I. nachts 28° unter dem Frierpunkt, wo der Frierpunkt mit 0, der Siedepunkt des Wassers mit 100 bezeichnet ist", und somit ist es Linné gewesen, der als der erste die Zentesimalskala in ihrer jetzigen Form be-

---

[1]) W. Junk, Karl von Linné und seine Bedeutung für die Bibliographie. Leipzig 1907, S. 5.

[2]) Celsius, Abhandlungen der schwedischen Akademie 1742, Bd. IV, S. 197 ff. Ostwalds Klassiker, Nr. 57, 1894, S. 117 ff.

[3]) Burckhardt, Zur Geschichte des Thermometers. Basel 1902, S. 67.

[4]) Van Swinden, Dissertation sur la Comparaison des Thermomètres. Amsterdam 1778, S. 116.

[5]) Burckhardt a. a. O., S. 69: Frigus summun 1740. 25. I noct. gr. 28 infra punctum congelationis, ubi punctum congelationis 0, calor aquae coquentis 100. Vgl. auch J. Rompel, Natur und Offenbarung, Bd. 53, 1907, S. 749.

nutzt hat, und ihm kommt die Priorität vor Christin zu, der nach Maze[1]) 1743 die 100 teilige Skala anwandte.

Wenn nun auch Peter van Musschenbroek die Flüssigkeiten wegen ihrer verhältnismäßig starken Ausdehnung zur Messung von Temperaturen für geeigneter hielt[2]) als feste Körper, so hat er doch daran gedacht, auch diese zu dem nämlichen Zwecke zu verwenden, und einen Apparat angegeben, der auch zur Messung von Temperaturen, welche die des siedenden Wassers überschreiten, zu brauchen ist. Dessen Bezeichnung als »vuurmeter,« welche man wörtlich in „Pyrometer" übersetzt hat, sollte freilich nichts anderes als Thermometer bedeuten[3]). Der Apparat[4]) bestand aus einem Metallstab, dessen eines Ende in einer Schraube ein festes Widerlager fand, während sein anderes bei seiner Ausdehnung einen Stab, der in eine Zahnstange endete, verschob. Dabei drehten die Zähne ein Getriebe und mit ihm einen über einer Teilung spielenden Zeiger, dessen Verschiebung auf die Temperaturerhöhung einen Schluß ziehen ließ. Indem Musschenbroek aber die Temperatur in dem den Stab umgebenden mit Alkohol, Wasser oder Öl gefülltem Trog mittels eines Fahrenheitschen Thermometers messen wollte, bewies er, daß er nicht verkannte, daß sich sein Apparat besonders zur Bestimmung der Ausdehnung fester Körper eignete. Zu diesem Zweck ist er auch hauptsächlich später verwandt worden, nachdem 1736 Ellicott[5]) und in dem nämlichen Jahr Jackson[6]), dessen Einrichtung Johnston[7]) beibehielt, die Übertragung auf den Zeiger sicherer und empfindlicherer gemacht hatten.

Die Apparate zur Beobachtung der magnetischen Deklination und Inklination waren so genau, daß sie für die meisten Zwecke der Praxis genügten. Die erstere tritt als Mißweisung auf, und so war das Bestreben des in Leiden, später in Kassel angestellten Astronomen Lothar

---

[1]) Maze, Compte rendu du quatrième congrès scientifique international des catholiques, 7. Sect., S. 177. Vgl. Remery, Natur und Offenbarung, Bd. 54, 1908, S. 57.

[2]) P. van Musschenbroek, Beginsels der Natuurkunde 2. Druck. Leiden 1739, S. 467.

[3]) Gerland, Das erste Metallthermometer. Leopoldina 1888, S. 160.

[4]) P. van Musschenbroek, Introductio ad philosophiam naturalem. Lugd. Bat. 1762. T. II., S. 160.

[5]) Ellicott, Philosophical Transactions 1736, Nr. 443, S. 297.

[6]) Jackson, Philosophical Transactions 1747, Nr. 484, S. 686.

[7]) Johnston, Philosophical Transactions 1748, Nr. 485, S. 128.

Zumbach von Koesfeld (1661—1727) gerechtfertigt, eine Magnetnadel herzustellen, die genau nach Norden wies. Dazu legte er um das auf der Spitze schwebende Hütchen drei drehbare Ringe, von denen zwei je ein Stück der Magnetnadel, der dritte ein als Gegengewicht dienendes Messingstäbchen trugen und so gegeneinander gedreht werden konnten, daß die Nadel in der Ruhelage sich in dem Meridian befand [1]). Hätte man so auch die Mißweisung vermeiden können, so bedurfte diese und ihre Änderung mit dem Beobachtungsorte doch der Erklärung. Dazu schienen aber genaue und zahlreiche Deklinationsbeobachtungen notwendig zu sein. Der Vorschlag freilich, den 1686 Teuber [2]) machte, um die notwendige Genauigkeit zu erreichen, erwies sich nicht als ausreichend, da nur Kreisbögen und Lineale benutzt werden sollten. Ausreichende Ergebnisse glaubte der Altdorfer Professor Johann Christoph Sturm (1635—1703) durch die Anwendung mäßig großer, aber sehr leicht beweglicher Nadeln, die über sehr genauen Teilungen spielten [3]), erhalten zu können, da mit Hilfe solcher der Nürnberger Arzt Johann Georg Volckamer (1616—1693) die Variation der Magnetnadel, wie man damals deren Deklination nannte, bestimmt hatte [4]). Sturm aber begnügte sich jedoch nicht mit solcher Genauigkeit, sondern bestimmte sie 1683 für Altdorf nach einer von Hautefeuille [5]) angegebenen Methode, zu $10^0 5' 7''$, indem er in den Brennpunkt des Objektivs eines Fernrohres einen Ring mit einem Faden stellte und eine Magnetnadel so aufstellte, daß ihre Spitze zugleich mit dem Faden deutlich erschien. Indem er beide im Gesichtsfeld zusammenbrachte, bestimmte er die Richtung der Magnetnadel, die durch eine Signalstange bezeichnet wurde. Eine ebensolche richtete er im Meridian auf und konnte dann aus der Messung der Abstände der Signalstangen voneinander und von dem den Faden tragenden Ring die Deklination der Nadel berechnen [6]).

---

[1]) Cöster und Gerland, Beschreibung der Sammlung astronomischer, geodätischer und physikalischer Apparate im Königlichen Museum zu Kassel. Kassel 1878, S. 43.

[2]) Teuber, Acta Eruditorum 1686, S. 125.

[3]) Sturm, Acta Eruditorum 1682, S. 258.

[4]) Volckamer, Wurzelbau und Eimmart, Acus magneticae variationis quae Norimbergae paucis abhinc annis deprehensa fuit, observatio, anno currente 1685 ibidem repetita. Philosophical Transactions 1685.

[5]) Hautefeuille, Nouvel moyen de trouver la déclinaison de l'aiguille aimantée avec une grande précision. Paris 1683.

[6]) Sturmius, Acta Eruditorum 1685, S. 527.

Den Weg, durch ein auf möglichst viele Orte der Erde ausgedehntes Netz beobachteter Deklinationen ein Bild vom magnetischen Zustand der Erde zu erhalten, schlug gegen das Ende des 17. Jahrhunderts Edmund Halley ein. 1656 in Haggerston bei London geboren, hatte er in Oxford Astronomie studiert, hatte in St. Helena längere Zeit beobachtet, später in den Jahren 1698—1700 eine Reise in südliche Breiten behufs der Vornahme von magnetischen Beobachtungen gemacht, war 1703 Professor der Mathematik in Oxford, 1719 Direktor der Sternwarte zu Greenwich geworden, nachdem er 1705 den nach ihm genannten Komet, den ersten mit elliptischer Bahn, entdeckt hatte. Er starb 1724 zu Greenwich. Seine magnetischen Beobachtungen führten ihn zur Annahme von vier magnetischen Polen, je zweien in der Nähe der astronomischen Pole, deren Vorhandensein er durch zwei, mit je zwei Polen versehenen Erdkugeln erklären zu können meinte, einer massiven innern und einer durch eine Flüssigkeitsschicht von ihr getrennten sie umgebenden äußern Kugelschale, die sich unabhängig voneinander bewegten und der Erde demnach zwei feste und zwei bewegliche Pole verliehen [1]). Ist auch diese Annahme längst wertlos geworden, so hat einen um so höhern Wert die Zusammenstellung der von ihm gemachten Beobachtungen behalten, die er 1700 in Kartenform herausgab unter dem Titel [2]): „Neue und genaueste Seekarte der ganzen Erde, welche die im Jahre 1700 gefundenen magnetischen Deklinationen zeigt." Die Erkenntnis der magnetischen Eigenschaften der Erde förderten die in demselben Jahre von Cunningham auf einer Reise nach China gemachten Beobachtungen der Änderungen der Inklination der Magnetnadel [3]) und die Entdeckung der täglichen Schwankung der Deklination [4]), der täglichen Variation, wie man sie jetzt nennt, durch den Mechaniker der Greenwicher Sternwarte Georg Graham (1675—1751).

---

[1]) Halley, Philosophical Transactions 1692.

[2]) Nova et Accuratissima Totius Terrarum Orbis Tabula Nautica Variationum magneticarum juxta observationes. Auch unter dem englischen Titel: A new and correct Sea Cart of the whole world shewing the variations of the Compass at they were found in the year MDCC.

[3]) Gehlers Physikalisches Wörterbuch, neu bearbeitet Bd. VI. Leipzig 1836, S. 1113.

[4]) Graham, Observations made on the variation of the horizontal needle at London 1722—23. Philosophical Transactions 1724.

Die Herstellung der Magnetnadeln erfolgte damals noch wie zu Gilberts Zeiten mit Hilfe von natürlichen Magneten, die demnach einen sehr großen Wert hatten. So erzählte 1711 der damals in Düsseldorf wohnende, später als Professor nach Utrecht berufene Nicolaus Hartsoeker (1656—1725) dem ihn besuchenden Frankfurter Ratsherren von Uffenbach[1]), „er habe durch seinen Sohn in Paris zwey tausend Gulden auf ein roh Stück bieten lassen, so kaum die Helfte so groß als seine Faust, man wolte aber drey tausend haben", und noch 1716 zahlte der Landgraf Karl von Hessen-Kassel an den nämlichen Hartsoeker für einen natürlichen Magneten von ½ Lot Gewicht, welcher 1 Pfund und 1 Lot Eisen trug, 100 Gulden rhein[2]). Diese enormen Preise mußten dazu anregen, Methoden zur Herstellung von künstlichen, ebenso kräftigen Magneten, wie die natürlichen, zu suchen oder besser, die zum Magnetisieren von Magnetnadeln geübten zu vervollkommnen. Zu diesem Zweck benutzte 1730 Servington Savery die bereits von Gilbert erwähnte, aber später wieder in Vergessenheit geratene Methode des einfachen Striches mit gutem Erfolg[3]). Doch war es ihm nicht gelungen, so kräftige Magnete zu erhalten, wie die waren, welche 1744 und 1745 Knight (gest. 1772) der Royal Society vorlegte[4]). Die von ihm dazu angewandte Methode hat erst sieben Jahre nach seinem Tode Wilson mitgeteilt[5]). Knight legte den zu magnetisierende Stahlstab auf zwei andere stark magnetisierte, deren ungleichnamige Pole einander zugewandt waren, und entfernte diese dann langsam voneinander. Auch magnetisierte er eine aus Eisenfeilspähnen geformte Paste zu dem nämlichen Zweck. Den doppelten Strich benutzte zuerst 1750 Michell (gest. 1793)[6]) der dabei bemerkte, daß sich sehr starke Magnete besonders aus magnetisierten Stahllamellen herstellen ließen, und unabhängig von ihm 1752 der Londoner Schulvorsteher Canton (1718—1772)[7]), nachdem es ihm 1751 gelungen

---

[1]) Von Uffenbach, Merkwürdige Reisen durch Niedersachsen, Holland und England. Frankfurt und Leipzig 1753, Bd. III, S. 730.

[2]) Akten des Königlichen Museums zu Kassel. Vgl. Cöster und Gerland, Beschreibung der Sammlung astronomischer, geodätischer und physikalischer Apparate. Kassel 1878, S. 42.

[3]) Savery, Philosophical Transactions 1730, Vol. 36, Nr. 414, S. 295.

[4]) Knight, ebenda 1744, Vol. 43, Nr. 474, S. 161 und 1745, Vol. 43, Nr. 476, S. 361. — [5]) Wilson, ebenda 1779, Vol. 69, S. 51.

[6]) Michell, A treatise on artificial magnets. Cambridge 1750.

[7]) Canton, Philosophical Transactions 1752, Vol. 47, S. 31.

war, schwache Magnete mit Hilfe des Erdmagnetismus dadurch zu erhalten, daß er den zu magnetisierenden Stab an eine vertikal aufgestellte Eisenstange band und mit einer ebenso gehaltenen rieb [1]).

Neben seinen magnetischen Arbeiten hat sich Halley auch mit solchen beschäftigt, deren Zweck die Verbesserung des Taucherwesens war. Nach den Berichten von Desaguiliers [2]) war der Tauchapparat Papins damals so abgeändert, daß man ein an zwei Tauen hängendes Faß verwendete, in das sich ein Mann das Gesicht nach unten gerichtet hineinlegen konnte. Vor seinem Gesicht befand sich ein Glasfenster, die Arme aber steckte er durch zwei genügend abgedichtete seitliche Öffnungen und konnte so auf dem Meeresboden hantieren. Da aber für Zufuhr frischer Luft nicht gesorgt war, so konnte der Apparat nur in geringen Tiefen Verwendung finden. Diese Unvollkommenheit suchte Halley dadurch zu verbessern, daß er ihm die Form einer Glocke gab, die mit einem Rande zum Sitzen versehen und unten ganz offen war, so daß in ihr, wenn man sie in das Wasser herabließ, Luft abgeschlossen wurde. Eine Glasplatte in ihrem Deckel ließ Licht hereinfallen, neben ihr aber wurde ein unten offenes Oxhoftfaß herabgelassen, aus dem die Luft durch einen besondern Schlauch unter die Glocke treten konnte, wenn ein Ventil am oberen Ende der Glocke geöffnet wurde. Dies Faß wurde, so oft es nötig war, wieder heraufgezogen und mit frischer Luft gefüllt, der Taucher aber konnte, mit einem Helm versehen, der durch ein Rohr mit der Luft unter der Glocke in Verbindung stand, aus ihr sich auf den Meeresboden begeben [3]). Ja, Desaguiliers bildet einen vollständigen Taucheranzug ab, der von den gegenwärtig im Gebrauch befindlichen nicht sehr verschieden ist [4]) Halley selbst begab sich mit der Taucherglocke in so beträchtliche Tiefe, daß in sie, wie er beobachtete, nur noch das rote Licht gelangen konnte.

b) Du Fay und die Entdeckung der beiden Elektrizitäten.

Die Notwendigkeit, für die Sitzungen der Royal Society immer neue Versuche bereit zu halten, ließ deren dazu bestellten Experimentator

---

[1]) Canton, Philosophical Transactions 1751.

[2]) Desaguiliers, A Cours of Experimental Philosophy. Holländische Übersetzung, Vol. II, 1746, S. 269.

[3]) Desaguiliers a. a. O., Vol. II, S. 270.

[4]) Desaguiliers a. a. O., Vol. II, S. 269.

Hawksbee (gest. um 1713) darauf sinnen, auch die elektrischen Erscheinungen, deren Erkenntnis seit Otto von Guerickes Beobachtungen darüber kaum gefördert war, in den Bereich seiner Arbeiten zu ziehen. Zunächst suchte er die bis dahin zur Erzeugung der Elektrizität verwendete Schwefelkugel durch einen zweckmäßigeren Apparat zu ersetzen und wählte dazu eine Glaskugel, die an eine Achse gekittet und durch Seilübertragung in sehr rascher Drehung versetzt wurde [1]). Verdünnte er nun die Luft in ihr und legte die Hand darauf, während sie in rasche Drehung versetzt wurde, so wurde die Kugel elektrisch, und dies zeigte sich daran, daß sie unter der Hand leuchtend wurde. s'Gravesande brachte dann entweder an einem die Kugel umgebenden Bügel oder an der Achse mit einem Ende befestigte Fäden an und sah sie sich gegen deren Oberfläche richten, wenn sie elektrisch geworden war. Wenn die Fäden mit Metallfolie durchwebt und lang genug, um beim Umdrehen der Achse gegen die Kugel zu schlagen, so wurden die Anschlagstellen ebenfalls leuchtend.

Eine ähnliche Erscheinung hatte bereits der Schüler Gassendis Picard (1620—1680) zufällig beobachtet [2]), indem er bemerkte, daß das Quecksilber im oberen Teile eines im dunkeln Zimmer hin und her getragenen Barometers bei seinen Schwankungen leuchtend wurde, welches Licht man einem merkurialischen Phosphor, auch wohl dem Äther als solchem zuschreiben zu müssen glaubte. Die eigentümliche Tatsache, daß nicht alle Barometer die Erscheinung zeigten, hatte mancherlei Erklärungsversuche hervorgerufen, die aber allgemein nicht anerkannt wurden, und ähnlich war es Johann Bernoulli mit einer ausführlichen Abhandlung darüber ergangen [3]) Den Grund gab erst 1723 Du Fay [4]), an, obwohl er ihn nicht selbst entdeckt hatte. Er war ihm von einem deutschen Glaskünstler mitgeteilt und durch den Versuch bekräftigt worden, und so war auch hier das deutsche Handwerk in den Besitz einer wichtigen Entdeckung gekommen, deren Urheber freilich unbekannt geblieben ist. Um ein leuchtendes Barometer zu erhalten, mußte man das Quecksilber im Glasrohr unter Einhaltung gewisser Vorsichtsmaßregeln, die Du Fay ausführlich beschreibt, aus-

---

[1]) 's Gravesande, Physices Elementa, 3. Ed., T. II, S. 669.

[2]) Picard, Observations sur la lumière du baromètre. Anciennes Mémoires de l'Académie française à Paris 1675, T. I.

[3]) Bernoulli, Histoire de l'Académie Royale à Paris 1700, S. 178.

[4]) Du Fay, Mémoires de l'Académie française. Paris 1723, S. 295.

kochen. Es genügte keineswegs, das heiße Quecksilber in das erhitzte Glas zu bringen.

Das Licht selbst war damit freilich noch nicht erklärt, und es ist zu verwundern, daß Du Fay sein Auftreten Feuerteilchen zuschrieb, die das Quecksilber beim Kochen aufgenommen habe und die bei den Schwankungen wieder in den luftleeren Raum entwichen. Hatte doch bereits 1705 Hawksbee durch den Versuch nachgewiesen, daß das Leuchten seine Entstehung der durch die Reibung des Quecksilbers am Glase auftretenden Elektrizität verdankte [1]). Er hatte unter eine oben mit Fassung zum Einlassen von Quecksilber versehene Glasglocke eine zweite kleinere gesetzt, den Raum zwischen beiden luftleer gepumpt und dann in ihn Quecksilber in dünnem Strahl treten lassen. Wo die Tröpfchen an das Glas prallten, entstanden Lichtblitze, die auf Elektrizitätsentwicklung durch die Reibung des Quecksilbers am Glase schließen ließen. Doch dauerte es noch längere Zeit, bis die elektrische Natur des Leuchtens der Barometer anerkannt wurde. 1745 trat der jüngere Ludolff [2]) (1707—1763) dieser Erklärung bei, und der Widerspruch gegen sie verstummte mehr und mehr, als L'Allemand [3]) im folgenden Jahre ein luftleer gemachtes, etwas Quecksilber enthaltendes Glasrohr durch Schütteln zum Leuchten brachte, als um dieselbe Zeit der sächsische Hofmechanikus Grummerl ein luftleer gemachtes Rohr in der Nähe der in Bewegung gesetzten Elektrisiermaschine aufleuchten sah [4]), als sich 1767 Äpinus (1724—1802) der von Hawksbee gegebenen Erklärung anschloß[5]), wenn es auch erst Deluc gelang, sie zur allgemeinen Anerkennung zu bringen[6]).

Die geschichtliche Bedeutung der Arbeiten über die leuchtenden Barometer liegt aber hauptsächlich darin, daß sie zum Ausgangspunkt einer Reihe von Untersuchungen über die elektrischen Erscheinungen wurden, die bald die Elektrizitätslehre als ebenbürtigen Teil der Physik

---

[1]) Hawksbee, Experimenta physico-mechanica. Londini 1709.

[2]) Ludolff, Mémoires de l'Académie Royale des Sciences à Berlin 1745, S. 1.

[3]) L'Allemand, Philosophical Transactions 1746, Vol. 44, Nr. 478, S. 58.

[4]) Gehlers, Physikalisches Wörterbuch, neu bearbeitet, III. Bd. Leipzig 1827, S. 320.

[5]) Aepinus, Commentarii Petropolitani 1760—1761, T. VIII, S. 274.

[6]) Deluc, Recherches sur les modifications de l'Atmosphère. Genève 1772.

neben die Optik und die Mechanik stellten. Wieder waren es die Londoner und die Pariser Akademie, die deren Ergebnisse in ihren Schriften veröffentlichten. Waren es doch eine Menge Einzeluntersuchungen, deren Mitteilung in Buchform wohl kaum möglich gewesen wäre. In England machte sich seit dem Jahre 1720 der bereits erwähnte Stephen Gray[1]) daran, die Versuche Guerickes zu wiederholen, und indem er sie ausdehnte und richtig deutete, fand er, daß die elektrische Leitfähigkeit verschiedener Stoffe eine so verschiedene sei, daß ein Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern gemacht werden müßte. Als er dann fand, daß Körper in der Nähe eines elektrischen Körpers elektrisch werden konnten, ohne daß eine Elektrisierung stattgefunden hatte, beobachtete er auch die Influenz, zeigte auch, daß ein an seidenen Schnüren aufgehängter Mensch elektrisiert werden konnte. Auch fand er, daß ein über eine Flüssigkeit gehaltener elektrischer Körper diese in Form eines Berges oder Kegels zu sich emporhob. Grays Versuche wiederholte dann Du Fay, indem er sie erweiterte und, wo es nötig war, berichtigte. Charles François de Cisternay du Fay war 1698 in Paris geboren, war in früher Jugend in die französische Armee getreten und hatte es bis zum Kapitän gebracht. Er gab die militärische Laufbahn auf, als er auf Grund seiner Abhandlung über die leuchtenden Barometer 1723 zum Mitglied der Pariser Akademie gewählt worden war, starb aber schon 1739 in seiner Vaterstadt. Seine Arbeiten über die Elektrizität hat er in sechs Abhandlungen in den Memoiren der Pariser Akademie in den Jahren 1733—1735 veröffentlicht. Sie geben einen guten Überblick über die Kenntnisse von der Elektrizität, über die man etwa bis zum Jahre 1740 verfügte[2]). Du Fay hatte gefunden, daß alle Körper, außer Metallen und Flüssigkeiten elektrisch werden, wenn man sie erhitzt und mit einem Tuche reibt, daß dazu sogar nur die Annäherung an eine elektrische Glasröhre genügt. Er zeigte, daß die Fortleitung der Elektrizität durch ein Packseil besser gelingt, wenn man es naß macht, ja daß man dieses durch den Körper eines auf gespannte Schnüre von Seide oder Pferdehaaren gelegten Menschen ersetzen kann, und daß alle solche Versuche ebensogut mit der Guerickeschen Schwefelkugel wie mit der Glaskugel Hawksbees gelingen.

[1]) Gray, Philosophical Transactions 1731, Vol. 37, Nr. 417, S. 18, 1732 Vol. 38, Nr. 422 und Nr. 423, S. 287.

[2]) Du Fay, Histoire et Mémoires de l'Académie Royale des Sciences von 1733, 1734 und 1735.

Die Anziehung der Fäden, welche an einem Bügel mit ihrem einen Ende befestigt waren, durch eine geriebene Glaskugel untersuchte er genauer und fand, daß ein den Fäden genäherter Finger sie abstieß. Da er dies nur dadurch erklären konnte, daß der Finger auch elektrisch wurde, so mußte er zwei Arten von Elektrizität annehmen. Indem er nun ein Goldblättchen mit einer geriebenen Glasstange elektrisierte, die es dann abstieß, fand er, als er ihm ein geriebenes Kopalstück näherte, statt der erwarteten verstärkten Abstoßung kräftige Anziehung, und so gab er den beiden Elektrizitäten den Namen der Glas- und der Harzelektrizität. Der Unterschied, den die geriebenen Körper zeigten, indem die einen elektrisch wurden, die anderen nicht, bewogen 1741 Desaguiliers[1]), der Du Fays Versuche aufnahm und fortsetzte, sie in elektrische per se und nichtelektrische per se, also in die idioelektrischen und anelektrischen der späteren Zeit einzuteilen. Die entladende Wirkung der feuchten Luft aber erklärte er so, daß die von dem geladenen Körper bewegte Luft die Wasserteilchen „wegtreibt[2]), sobald sie sie elektrisch gemacht hat, und daß diese und die Luftteilchen sich dann abstoßen," eine Anschauungsweise, die bis in die neueste Zeit beibehalten worden ist.

c) Die Elektrisiermaschine und die Verstärkungsflasche.

Die große Bequemlichkeit der drehbar aufgestellten Hawksbeeschen Glaskugel, die ja nur eine Abänderung der Guerickeschen Art war, die Elektrizität zu erzeugen, war um 1740 noch nicht in Deutschland üblich geworden. Wenigstens bediente sich der Leipziger Professor Hausen (1693—1743) noch 1743 der unbequemen langen Glasröhre, bis er in diesem Jahre, durch einen seiner Schüler darauf aufmerksam gemacht, zum Gebrauch der Glaskugel überging. Mit diesem wiederholte er nun Hawksbees Versuche und elektrisierte einen auf Schnüren gelagerten Knaben, der mit den Absätzen seiner Schuhe an die Glaskugel, mit einer Hand die Hand eines zweiten berührte, der auf einem ebenfalls nach Hawksbees Vorgang mit Pech ausgegossenen Zuber stand und diesen befähigte mit der andern Hand die üblichen elektrischen Versuche, den Puppentanz, Funkensprühen usw. vorzunehmen. Dabei

---

[1]) Desaguiliers, Philosophical Transactions 1742, Vol. 42, Nr. 462, S. 14.

[2]) Nach der Übersetzung von Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 333.

beobachtete und beschrieb Hausen zum ersten Male die drei Arten der Entladung, die man jetzt als Funken-, Büschel- und Lichtentladung unterscheidet [1]). An Stelle des vorher erwähnten Knaben legte 1744 der Wittenberger Professor Bose ein Rohr von Eisenblech in die Schnüre, dessen der rotierenden Glaskugel zugewendetes Ende er in feine Streifen auflöste, während sein anderes Ende ein isoliert aufgestellter Gehilfe in der Hand hielt [2]). Damit war zwar die Elektrisiermaschine der späteren Zeit noch nicht vollständig, aber ihr zweiter Bestandteil, der Konduktor, war eingeführt, und so ließ denn auch der dritte, das Reibzeug, nicht lange auf seine Herstellung warten, denn in dem nämlichen Jahre 1744 beabsichtigte der Leipziger Professor Winkler (1703—1770) die Hand durch ein Pferdehaarkissen zu ersetzen, welches wie der von ihm statt der Kugel angewendete weite Glaszylinder geformt war und durch eine Schraube angedrückt werden sollte. Aber auf denselben Gedanken war schon der Mechaniker Giessing gekommen, der ihm bei seinen Versuchen half, und überraschte ihn mit der bereits fertigen Verbesserung [3]). Da die Schraube immer geregelt werden mußte, so ersetzte sie Winkler bald durch eine Feder, und so waren nur noch geringfügige Änderungen anzubringen. Diese verdanken wir den Engländern Wilson (1708—1788), der den Konduktor mit Spitzen versah, und dem Londoner Schulvorsteher Canton (1718 bis 1772), der die von Winkler auf das Reibkissen gebrachte Kreide durch Zinnamalgam ersetzte [4]), dessen Wirksamkeit Bernoulli zuerst erkannt hatte. 1778 empfahl Higgins statt dessen Zinkamalgam, noch später wendete man eine Mischung beider an. Die Glasscheiben, die unsere jetzigen Maschinen zeigen, führten um 1760 unabhängig voneinander Sigaud de la Fond (1740—1810), Planta (1727—1772) und Ingenhousz (1730—1799) ein [5]).

Bei den mannigfachen Versuchen, die auch von Liebhabern mit den leicht herzustellenden Apparaten über die elektrischen Erscheinungen angestellt wurden, empfand man bald als besondern Mangel die geringe

---

[1]) Hausen, Novi profectus in historia electricitatis. Lipsiae 1743.

[2]) Bose, Tentamina Electrica. Wittembergae 1744.

[3]) Winkler, Gedanken von den Eigenschaften, Wirkungen und Ursachen der Elektrizität nebst Beschreibung zweier elektrischer Maschinen. Leipzig 1744, S. 12.

[4]) Canton, Philosophical Transactions 1753, Vol. 48.

[5]) Gehlers physikalisches Wörterbuch, 2. Aufl., Bd. III. Leipzig 1827. S. 431.

Dauer der erhaltenen Ladungen. Dem glaubte Peter van Musschenbroek abhelfen zu können, wenn er einen geladenen Körper in eine isolierende Hülle einschlösse, also etwa Wasser in einem Glasgefäß isolierte. Der Versuch gelang aber erst, als im Anfang des Jahres 1746 das sich für elektrische Versuche interessierende Mitglied des Leidener Magistrates Cunaeus (1709—1788) ein mit Wasser gefülltes Glas, in welches ein an der als Konduktor der Elektrisiermaschine dienenden eisernen Röhre befestigter Messingdraht tauchte, in der Hand hielt und die Maschine in Tätigkeit setzte; als er dann die andere Hand dem Konduktor näherte, erhielt er einen so heftigen Schlag, daß ihn Musschenbroek, der dann den Versuch wiederholte, nicht entsetzlich genug schildern kann. So überraschend diese Entdeckung nun auch für die Leidener war, so hatten sie doch nur einen Versuch gemacht, der in Deutschland bereits seit dem 11. Oktober 1745 bekannt war, an welchem Tage ihn der 1700 geborene Domdekan Ewald Jürgen von Kleist in Kammin in Pommern, seit 1747 bis zu seinem im folgenden Jahre eingetretenen Tode Hofgerichtspräsident in Köslin, als erster angestellt hatte. Er hatte ihn am 4. November 1745 dem Berliner Anatomen Lieberkühn (1711—1756), kurz darauf an die von dem späteren Danziger Bürgermeister Daniel Gralath (1708—1767) im Jahre 1743 gegründete naturforschende Gesellschaft in Danzig mitgeteilt. Beiden war aber die Wiederholung des Versuches nicht geglückt. Die Erfahrung, daß sein Gelingen von bestimmten Glassorten abhänge, hatte übrigens auch Musschenbroek bereits gemacht, als brauchbar für ihn nur deutsches oder böhmisches Glas gefunden, während englische und französische versagten, eine Erfahrung, die bekanntlich auch heute noch sorgfältig berücksichtigt werden muß. Wie Kleist auf seinen Versuch gekommen ist, hat er nicht mitgeteilt. Am 19. Dezember 1745 beschrieb er ihn dem Haller Professor Krüger (1715—1759) in der Weise, daß er in ein enghälsiges Medizingläschen einen Nagel gesteckt und diesen dann elektrisiert habe. Das Gläschen müsse recht trocken und warm sein, auch sei es vorteilhaft, etwas Quecksilber oder Weingeist hineinzugießen. Diesen Brief ließ Krüger 1746 abdrucken und gab so die erste öffentliche Nachricht von der Erfindung der Verstärkungsflasche. Im Anfang desselben Jahres teilte Musschenbroek den in Leiden gemachten Versuch Réaumur mit, der sogleich den Abbé Nollet damit bekannt machte. Jean Antoine Nollet war 1700 in Pimpré bei Noyon geboren, hatte in Paris längere Zeit öffentliche Vorlesungen

gehalten, bis er 1753 Professor der Physik in Paris geworden war, wo er 1770 starb. In seinen Vorlesungen und namentlich in einer Reihe gemeinverständlicher Bücher behandelte er namentlich die Elektrizität, und so war es damals der beste Weg, eine Entdeckung in die breiteste Öffentlichkeit zu bringen, wenn man Nollet mit ihr bekannt machte. So kam es, daß das Leidener Experiment bald in aller Munde war und der Verstärkungsapparat die Leidener Flasche nach seinem Vorgang genannt wurde. Seitdem deren wahre Entdeckungsgeschichte bekannt geworden ist, gibt man ihr, wenigstens in Deutschland, immer mehr ihre richtige Bezeichnung als Kleistsche Flasche [1]).

In der Form, wie Kleist und Musschenbroek die Flasche angegeben hatten, war sie freilich für Versuche nicht ausreichend oder doch nicht bequem. Dem half erst Winkler ab, indem er 1753 einen kugelförmigen Kolben mit langem Halse nahm, den Bauch mit Wasser oder Eisenfeilspänen füllte, den hineingesteckten Draht mittels eines Korkstopfens befestigte, und das Ganze in einen Messingbecher stellte. Da eine so große Fläche aber sehr starke Ladungen aufnehmen konnte, so sicherte er sich bei seinen Versuchen durch einen Entlader, das »Instrumentum brontopoeum«, das Donnerinstrument, wie er es nannte, da er den Blitz als einen dem der Flasche ähnlichen, nur stärkeren Entladungsfunken hielt, der in einem hohlen Schlüssel bestand, den eine Kette mit dem Messingbecher verband, während in den Hohlraum ein isolierender Holzgriff eingesetzt wurde [2]). Hatte er so die äußere Belegung zugefügt, so brachten Watson [3]) (1715—1787) und Bevis (1695—1771) durch Zufügung der innern die Flasche auf ihre heutige Einrichtung, indem sie ihr Inneres mit Zinnfolie beklebten. Mit einer solchen suchte 1746 Le Monnier (1717—1799) die Geschwindigkeit der Elektrizität zu bestimmen, indem er die innere und äußere Belegung durch einen 12276 Fuß langen Draht verband, der in der Mitte und an dem mit der inneren Belegung verbundenem Konduktor je eine Funkenstrecke hatte. Es gelang ihm aber nicht, einen Zeitunterschied zwischen dem Überschlagen der beiden Funken zu beobachten.

---

[1]) Vgl. auch Feldhaus, Die Erfindung der elektrischen Verstärkungsflasche durch Ewald Jürgen von Kleist. Heidelberg 1903.

[2]) Winkler, De avertendi fulminis artificio, secundum Electricitatis doctrinam commentatio, Lipsiae 1753. Auch Nova Acta Eruditorum 1755, S. 117.

[3]) Watson, Philosophical Transactions 1748, Vol. 45, Nr. 485, S. 92 ff.

d) Die Fortschritte auf optischem Gebiet. Bradley, Dollond, Bouguer und Lambert.

Wenn auch das durch die Autorität Newtons gestützte Spiegelteleskop als für astronomische Beobachtungen besonders geeignet erachtet wurde, so hatte sich doch der Refraktor als Meßinstrument behauptet, dem man ja die großen Entdeckungen von Huygens verdankte. Als nun Hadley 1720 zwei große über fünf Fuß lange Spiegelteleskope hergestellt hatte, forderte die Royal Society die beiden Astronomen Bradley und Pound zu deren Prüfung auf. James Bradley war 1692 in Shireborn in Gloucester geboren, von 1721 bis zum Tode Halleys im Jahre 1742 Professor der Astronomie gewesen, dann zu Halleys Nachfolger als Kgl. Astronom in Greenwich ernannt. Er starb 1762. Sein Oheim James Pound (gest. 1724) war Pfarrer in Wansted in Essex. Die Vergleichung der Spiegelteleskope mit einem Huygensschen Refraktor von 132 Fuß Länge ergab, daß die Hadleyschen Teleskope ihm in der Vergrößerung gleich kamen. Man suchte danach die Spiegelteleskope immer mehr zu vervollkommnen, und es war namentlich James Short in London (1710—1768), der sie zu einem hohen Grade der Vollkommenheit brachte[1]). Da sich an ihnen aber kein Mikrometer anbringen ließ, so benutzte man für Messungen doch stets Refraktoren, und so bedienten sich Molyneux und Bradley eines solchen in Verbindung mit einem vortrefflichen Grahamschen Zenitsektor, als sie die Parallaxe von Fixsternen festzustellen versuchten [2]). Eine solche fanden sie freilich nicht, dagegen bemerkte Bradley, daß die Fixsterne im Laufe eines Jahres geschlossene Bahnen beschrieben und erklärte diese auffallende Erscheinung, aus der bereits bekannten Tatsache der Geschwindigkeit des Lichtes. Er zeigte, daß, wenn auf einen Fixstern das Fernrohr gerichtet war, wegen der Bewegung der Erde die von ihm ausgehenden Strahlen nicht in das Auge des Beobachters kommen könnten, sondern seitlich an die Wand des Rohres gelangen müßten, daß daher die Achse des Fernrohres, welche eine solcher Strahl durchlaufen solle, etwas in der Richtung der Bewegung der Erde geneigt werden müsse [3]). Es gelang

[1]) Mudge, Philosophical Transactions 1777, Vol. 67, I, S. 296 ff. Vgl. Gehler, Physikalisches Wörterbuch, 2. Aufl., Bd. IX. Leipzig 1838, S. 225.

[2]) Littrow, Wunder des Himmels, 8. Aufl., bearb. v. Weiß. Berlin 1897, S. 104.

[3]) Bradley, Account of a new discovered motion of the fixed stars. Philosophical Transactions, 1728, Vol. 35, S. 637.

ihm auch aus dieser Aberration der Lichtstrahlen, wie die Erscheinung später genannt wurde, die Geschwindigkeit des Lichtes zu berechnen, und er fand sie in schöner Übereinstimmung mit der von Römer dafür erhaltenen Zahl zu 41 500 Meilen in der Sekunde.

Trotz der damit erwiesenen Brauchbarkeit der Refraktoren für messende Beobachtung, stand ihrer allgemeinen Anwendung in der Astronomie die Farbenzerstreuung der Linsen entgegen, deren Abstellung Newton für unmöglich erklärt hatte, weil ihm die Verschiedenheit des Brechungsvermögens verschiedener Substanzen entgangen war. Euler[1]), von der allerdings unrichtigen Voraussetzung ausgehend, daß das menschliche Auge achromatisch sei, nahm zwar an, daß es achromatische Linsensysteme geben müsse, zweifelte aber, da er Newtons Arbeiten für völlig zutreffend hielt, an der Möglichkeit, solche herzustellen, und ließ sich erst lange nach deren Herstellung von einer solchen Möglichkeit durch Zeiher[2]) (1720—1784) überzeugen. An diese aber hatte der als Refugié nach London gekommene und dort bis 1752 als Seidenweber beschäftigte John Dollond[3]) (1706—1761) geglaubt, obwohl er das Auge nicht für achromatisch hielt, und ihm gelang es, nachdem 1754 der Professor der Mathematik in Upsala Samuel Klingenstjerna[4]) (1698—1765) Newton berichtigt und den Weg zur Herstellung einer achromatischen Linse angegeben hatte, 1757 die erste ihrer Art zu verfertigen[5]). Sie wird bekanntlich aus zwei Linsen von verschieden brechendem Glase hergestellt, einer bikonvexen und einer konkav-konvexen, welche genau aufeinander passen. Dabei war die Herstellung eines passenden Flintglases bis in die neuere Zeit von mancherlei Umständen so sehr abhängig, daß der Zufall dabei sein Spiel in hohem Maße trieb. Auch bei den Dollond-

[1]) Euler, Sur la perfection des verres objectifs des lunettes. Mémoires de l'Académie de Berlin 1747, S. 285. Dioptrica. Petropolit. 1769. Berlin 1770 bis 1771.

[2]) Zeiher, Abhandlung von denjenigen Glassorten, welche eine verschiedene Kraft, die Lichtstrahlen zu zerstreuen besitzen. St. Petersburg 1763.

[3]) Dollond, Letters relating to a theorem of Leonhard Euler for correcting the objectiv glasses of refracting telescopes. Philosophical Transactions 1753, S. 286.

[4]) Klingenstierna, Kongl. Svenska vetenskaps academiens Handlingar 1754. In der deutschen Übersetzung Bd. 16, S. 300.

[5]) Dollond, An account of some experiments concerning the different refrangibility of Light. Philosophical Transactions 1758.

schen Gläsern! Denn nach der Erzählung von Jesse Ramsden (1735 bis 1800), dem Schwiegersohne von John Dollond, der mit seinem Schwager Peter Dollond (1730—1820) nach Johns Tode die väterliche Werkstatt übernommen hatte, fanden deren Inhaber den Block Flintglas, den sie zur Herstellung ihrer berühmten Objektive benutzten, beim Abbruch eines alten Glasschmelzofens in dessen innerem Raume, in den es durch eine schadhafte Stelle gelangt war, und schrieben seine Güte dem häufigen Ausglühen zu, dem es unterworfen worden war[1]).

So hatte sich die Praxis hier ihren eigenen Weg bahnen müssen und war der Theorie weit vorausgeeilt. Da die theoretischen Arbeiten Eulers, die Clairaut[2]) wohl für sinnreich, aber nicht brauchbar erklärte, sodann die Zeihers und dessen Gehilfen Fuß[3]), sowie die weiteren Clairauts[4]), d'Alemberts[5]) und des Jesuiten Boscovich[6]) u. a. die Linsendicke nicht berücksichtigten, so hatten sie keinen Einfluß auf die Technik, ein Verhältnis, das sich erst im Anfange des 19. Jahrhunderts nutzbringender gestaltete.

Einen ähnlichen Weg nahm die Entwicklung des Mikroskopes. Hier war es Baker[7]) (1698—1774), der 1736 ein katoptrisches angab, dessen Einrichtung er die des Gregoryschen Fernrohres zugrunde legte. Die Mechaniker Scarlett und Cuff[8]) fertigten den neuen Apparat an, doch kam er wohl nie zu ausgebreiteterer Verwendung, denn das Mikroskop, dessen sich Nollet[9]) bediente, war bereits wieder ein dioptrisches. Für die objektive Darstellung sehr kleiner Gegenstände erfand man das Sonnenmikroskop, oder besser, man führte es ein. Denn da es in der längst bekannten Dunkelkammer die Linse nur durch eine Linsenkombination ersetzt, so ist es begreiflich, daß mehrere Forscher unabhängig darauf kamen. Nach Kästner soll es der Kieler Professor

---

[1]) Löwenherz, Zeitschrift für Instrumentenkunde. 1882, S. 275.

[2]) Clairaut, Histoire de l'Académie de Paris 1756, S. 183.

[3]) Fuß, Instruction détaillée pour porter les lunettes de toutes les différentes espèces au plus haut degré de perfection dont elles sont susceptibles tirée de la dioptrique de M. Euler le Père. St. Petersburg 1774.

[4]) Clairaut, Mémoires de l'Académie de Paris 1756, S. 624.

[5]) D'Alembert, Opuscules mathématiques. 8. Vol. von 1761 bis 1768. Die betreffenden Untersuchungen stammen aus den Jahren 1764, 1765 und 1767.

[6]) Boscovich, Dissertationes ad Dioptricam. Viennae 1767.

[7]) Baker, Philosophical Transactions 1736, Vol. 39, Nr. 442, S. 259.

[8]) Cuff, ebenda 1740, Vol. 41, Nr. 458, S. 517.

[9]) Nollet, L'Art des Expériences. Paris 1770, T. III, Pl. 14.

Samuel Reyher (1635—1714) bereits 1679 gekannt haben [1]), während Baker angibt, daß sich Fahrenheit ein solches gebaut, und daß dieses der Berliner Arzt Johann Natanael Lieberkühn (1711—1756) bei dem bekannten George Clifford in Amsterdam gesehen, nachgemacht und bei Vorträgen benutzt habe [2]). In der Tat hat Lieberkühn in seinen Schriften die Erfindung für sich in Anspruch genommen, worauf Harting besonders hinweist [3]), Freilich hatten weder Fahrenheit noch Lieberkühn den Heliostatenspiegel mit dem Apparate verbunden. Ihn fügte erst Cuff hinzu [4]) und gab dadurch dem Apparate die Bequemlichkeit, die ihn namentlich für Vorstellungen in Schulen so geeignet gemacht hat.

Die Beobachtungen mit Fernrohr und Mikroskop hatten auf die verschiedene Stärke des aus verschiedenen Quellen stammenden Lichtes hingewiesen und damit auf die Notwendigkeit, verschiedene Lichtstärken zu vergleichen; das photometrische Problem war gestellt. Der erste, der es, wie gleich bemerkt sei vergeblich, zu lösen suchte, war Huygens, der das Licht der Sonne mit dem des Sirius vergleichen wollte, indem er mittels eines durch ein enges Diaphragma verschlossenes Rohr den Bruchteil der Sonnenoberfläche zu bestimmen gedachte, der ebenso hell, wie Sirius war [5]). Aber auch die Versuche des Kapuziners Maria [6]) über die Lichtabnahme bei wiederholten Reflexionen oder Durchgängen durch Glasplatten ergaben sich als unhaltbar, nicht minder aber die von Celsius [7]), der auf die Lichtstärke aus der gleichen Deutlichkeit dreier auf weißes Papier gezeichneter Kreise bei verschiedener Entfernung des Auges und der die Kreise beleuchtenden Lichtquelle schließen wollte. Zweckmäßiger war das Verfahren des durch seine naturgeschichtlichen Werke bekannten Grafen de Buffon [8]) (1707—1788), der in einem

---

[1]) Rosenberger, Geschichte der Physik, Teil II. Braunschweig 1884, S. 321.

[2]) Baker, The Mikroskope made easy. London 1742. Vgl. Harting, Het Mikroskoop, 3. Deel. Utrecht 1850, S. 317.

[3]) Harting, ebenda, Note.

[4]) Harting, ebenda, S. 318.

[5]) Huygens, Cosmotheoros, Lib. II. Opera varia, Vol. II. Lugduni Batavorum 1724, S. 717.

[6]) Maria, Nouvelles découvertes de la lumière Paris 1700. Vgl. Wilde, Geschichte der Optik, Bd. II. Berlin 1843, S. 298.

[7]) Celsius, Histoire de l'Académie des Sciences. Paris 1735, S. 5.

[8]) Buffon, Mémoires de l'Académie des Sciences. Paris 1747, S. 84.

dunklen Zimmer die Beleuchtungsstärken des durch eine enge Öffnung eintretenden direkten und reflektierten Sonnenlichtes vergleichen wollte. Waren diese Versuche sämtlich mit weißem Lichte angestellt, so hatte Peter van Musschenbroek[1]) die Schwächung des Lichtes durch verschieden farbige Gläser untersucht und dabei gefunden, daß solche, auch wenn sie ganz dünn sind, unter Umständen das Sonnenlicht ganz auslöschen können. So war für zuverlässige photometrische Messung noch wenig erreicht, als eine Arbeit des Sekretärs der Pariser Akademie der Wissenschaften Mairan[2]) (1678—1771) über das Licht der Sonne, das im Nebel bleich wie das des Mondes erscheint, Ursache wurde, daß Bouguer seine photometrischen Arbeiten unternahm. Pierre Bouguer war 1698 zu Croisic in der Bretagne geboren, hatte im Jesuitenkollegium in Vannes studiert, wurde Professor der Hydrographie in Paris und 1735 von der dortigen Akademie der Wissenschaften als Mitglied der Expedition zur Gradmessung, von der noch die Rede sein wird, nach Peru gesandt. Er starb 1758 in Paris. Es waren namentlich zwei Vorrichtungen, deren sich Bouguer bei seinen photometrischen Untersuchungen bediente und die er in einer kleinen 1729 in Paris erschienenen Schrift: Essai d'Optique sur la gradation de la lumière nebst den damit erhaltenen Ergebnissen mitteilte. Zur Vergleichung zweier Lichtflammen nahm er zwei etwas gegeneinander geneigte Brettchen, von denen jedes eine mit geöltem Papier verschlossene Öffnung hatte. Beide ließ er von den zu untersuchenden Flammen so beleuchten, daß das Licht einer Flamme nur auf eine Papierscheibe fiel. Von der andern hielt es ein Brett ab, welches von der Kante, in der die beiden andern zusammentrafen, ausging, so daß seine Photometer die Form eines ⅄ hatte. Den Lichtverlust durch Reflexion bestimmte er durch zwei Papierscheiben, zwischen welchen ein Licht aufgestellt war, und einen Spiegel, in dem das Bild der einen Scheibe neben dem der direkt gesehenen erschien, denjenigen durch Absorption mittels zweier auf der Rückwand eines Kastens angebrachter Scheiben weißen Papiers, die anfangs von zwei Lichtquellen gleich stark beleuchtet werden, worauf der Verlust infolge der Absorption durch Glasplatten, welche in die Strahlen der einen Lichtquelle gestellt werden, durch Entfernung der andern von

---

[1]) Musschenbroek, Introductio II, S. 773.

[2]) Mairan, Mémoires de l'Académie des Sciences. Paris 1721. Vgl. Pristley, Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Optik. Deutsch von Klügel, II. Teil. Leipzig 1776, S. 293.

ihrer Papierscheibe bestimmt wird. Er fand so den Lichtverlust bei der Reflexion an festen und flüssigen Körpern um so geringer, unter einem je kleineren Winkel die Strahlen einfielen[1]), an Metallen größer als an andern Körpern, bei Flüssigkeiten am kleinsten am Quecksilber, während bei Wasser der Unterschied in der bei kleinen und großen Neigungswinkeln zurückgeworfenen Lichtmenge bedeutend war. Die Größe des Lichtverlustes bei der Absorption durch eine Anzahl Glasplatten oder durch Schichten von Meerwasser von verschiedener Dicke fand er proportional den Quadraten der Dicken der Schichten. Sodann untersuchte er die Helligkeit des vom hellen Himmel ausgehenden Lichtes, das er in einer Entfernung von 3 oder 4° von der Sonne am stärksten fand, sowie daß, wenn die Sonne eine Höhe von 15 bis 20° hat, die Helligkeit des Himmels in einem in derselben Höhe liegenden Horizontalkreise in Entfernungen von 110 bis 120° von der Sonne ein Minimum hat. Das Licht der Sonne fand er ungefähr 300 000 mal stärker als das des Vollmonds und sah darin die Erklärung dafür, daß das im Brennpunkt eines großen Hohlspiegels konzentrierte Mondlicht ein daselbst aufgestelltes Thermometer nicht zum Steigen brachte. Die Stärke des Lichtes im Mittelpunkt der Sonne fand er im Verhältnis von 48 : 35 größer als das von einem um ¾ des Durchmessers der Sonne von ihrer Mitte entferntem Punkte. Allgemein kommt er zu der Annahme, daß die Lichtstärke in geometrischer Progression mit der Tiefe des durchdrungenen Mittels abnehme. Davon ausgehend hat er dann die Lichtstärke eines Gestirnes in seiner verschiedenen scheinbaren Höhe berechnet. Seine Ergebnisse erwiesen sich aber als nicht haltbar, da er die Höhe der dichteren Luft zu klein genommen und die Abnahme der Lichtstärke nur für zwei Höhen der Sterne beobachtete.

Während Bouguer vom Experiment ausgegangen war, waren es theoretische Betrachtungen, welche Johann Heinrich Lambert bei der Aufstellung seiner photometrischen Sätze leiteten. Geboren 1728 zu Mühlhausen im Elsaß in ärmlichen Verhältnissen mußte er sich in seiner Jugend seinen Unterhalt als Schreiber erwerben, kam dann als Hauslehrer zu den Söhnen des Präsidenten von Salis in Chur, dessen reichhaltige Bibliothek er benutzen konnte, und lernte auf Reisen mit seinen Zöglingen Deutschland, Frankreich und England kennen. Seine Photometrie gab er im Jahre 1760 heraus, der 1761

[1]) Wilde, Geschichte der Optik, II. Bd. Berlin 1843, S. 307 ff.

seine kosmologischen Briefe folgten, 1765 wurde er von Friedrich dem Großen zum Mitglied der Berliner Akademie der Wissenschaften und bald darauf zum Oberbaurat ernannt, in welcher Stellung er bis zu seinem 1777 erfolgten Tode verblieb. Eine große Reihe von Abhandlungen von mathematischem und astronomischem Inhalt ließ er in den Abhandlungen der genannten Akademie drucken. Der Inhalt seiner Photometrie ist in Kürze der folgende [1]: Als Helligkeit eines Punktes nahm er die Stärke der Erleuchtung eines Flächenelementes, im Vergleich zu der Erleuchtung, die das Element unter denselben Verhältnissen von einem als Einheit angenommenen leuchtenden Punkt erhält. Da wir nun aber die Beleuchtungsstärken nur mit Hilfe unseres Auges vergleichen können, so ist es nicht die absolute, sondern die gesehene Helligkeit, welche wir beobachten können, diese aber erhält man, wenn man die Lichtmenge durch die Größe des Bildes auf der Netzhaut dividiert. Die Stärke der Erleuchtung einer von senkrecht auffallenden Lichtstrahlen getroffenen kleinen Fläche aber ist proportional der Größe der leuchtenden Fläche und umgekehrt, proportional dem Quadrate des Abstandes beider Flächen, fällt das Licht unter einem Winkel auf die Fläche, so muß die bei senkrechter Inzidenz erhaltene Lichtstärke noch mit dem Sinus dieses Winkels multipliziert werden. Aber auch die ausströmende Lichtmenge muß mit dem Sinus des Winkels, den die die leuchtende Fläche verlassenden Strahlen mit ihr bildet, multipliziert werden, wenn die ausströmende Lichtmenge bestimmt werden soll, alles Sätze, die auch heute noch gültig sind.

Diese Sätze wendet dann Lambert zur Lösung einiger Aufgaben an. Er bestimmt die Lichtmengen die von ein und mehreren Gläsern reflektiert, durchgelassen und zerstreut werden, er untersucht den bei der Reflexion von Glas- und von Quecksilberspiegeln eintretenden Verlust an Lichtstärke und bildet den später in der Astronomie so wichtig gewordenen Begriff der Albedo aus, um sich weiter zu der Absorption des Lichtes beim Durchgang durch die Atmosphäre und zu der Erleuchtung der Planeten durch die Sonne zu wenden. Unter der Annahme, daß die Albedo des Mondes ¼ sei, d. h., daß er von 10 000 auf ihn fallenden Strahlen 2500 reflektiert, erhält er das Verhältnis der Helligkeit des Vollmondes zu der der Sonne, wie 1 : 277000, also sehr nahe gleich

---

[1]) Vgl. Wilde a. a. O., S. 338 ff.

dem von Bouguer gefundenen. Doch befriedigt ihn diese Zahl nicht, da er der Ansicht ist, daß die Albedo des Mondes kleiner als ¼ sei. Die mittlere Helligkeit der Mondphasen berechnete er in ihrer Abhängigkeit von der Entfernung des Mondes von der Sonne und der Erde und fand, daß die mittlere Helligkeit des Vollmondes nur ⅔ seiner mittleren Zentralhelligkeit beträgt, d. h. der gesehenen Helligkeit des Vollmondelementes, auf welches die Sonnenstrahlen senkrecht auffallen bei mittlerer Entfernung von der Sonne. Zur Vergleichung der Lichtstärke von Flammen verglich er die Dunkelheit der Schatten eines Stabes, die sie auf einen Schirm warfen, genau so, wie dies später Rumford tat, so daß das nach dem letzteren genannte Photometer eigentlich das Lambertsche heißen müßte. Aber auch das von Ritchie angegebene, das die Strahlen der zu vergleichenden Flammen durch zwei in einem Papprohr unter einer Neigung von 45° angebrachte Spiegel auf zwei nebeneinander befindliche Scheiben geölten Papieres wirft, ist nur ein verbessertes Bouguersches.

e) Form und Dichtigkeit der Erde.

Berühmter noch, als durch seine photometrischen Arbeiten wurde Bouguer durch seine Gradmessung in Peru. Die Gradmessungen welche Picard in den Jahren 1669 und 1670 unter Anwendung der Methode von Snell zwischen Amiens und Malvoisine auf einem Bogen von 1° 22′ 58″ unter erstmaliger Benutzung von Winkelmessern mit Fernröhren angestellt hatte [1]), hatten ergeben, daß die Länge der Meridiangrade nach den Polen abnehmen, dort also die Erde an den Polen zugespitzt sein müsse. Zu derselben Folgerung hatten auch die Messungen geführt, die auf Anordnung Colberts von 1680—1712 zum Zwecke der Herstellung einer Karte Frankreichs von einer Reihe von Gelehrten angestellt waren. Das stimmte aber schlecht zu den theoretischen Erörterungen von Huygens und Newton, nach denen gerade das Gegenteil stattfinden, die Erde an den Polen abgeplattet sein mußte. Dieser Widerspruch hatte zu heftigen Streitigkeiten zwischen den englischen und französischen Mathematikern Veranlassung gegeben, aber auch die Messungen von Dünkirchen bis Collioure, die unter Leitung Giovanni Domenicos Cassinis (1625 bis 1712) und dessen Sohn Jacques Cassini (1677—1756), welche beide

[1]) Picard ,La mesure de la terre. Paris 1671.

aufeinanderfolgend Direktoren der Pariser Sternwarte waren, angestellt wurden, hatten kein anderes Resultat gehabt, obwohl man auch die Messung des Grades des durch Paris gehenden Breitenkreises mit hineingezogen hatte [1]). Als nun aber die Engländer die Beweiskraft aller dieser Messungen in Zweifel zogen, da sie sich nur auf zu nahe beieinander liegende Meridiane erstreckten, beschloß die Pariser Akademie eine neue Messung in der Nähe des Äquators vornehmen zu lassen. Sie wählte dafür die Hochebene von Quito und rüstete eine Expedition nach Peru aus, deren Führung Bouguer und dem Akademiker Karl Marie de la Condamine (geb. 1701 in Paris, gestorben daselbst 1774), anvertraut wurde. Sie gab ihnen dazu einen sehr sorgfältig gearbeiteten eisernen Maßstab von 1 Toise oder 6 französischen Fuß Länge mit, der zu den Messungen benutzt werden sollte und dann die gesuchte Länge des Meridians genau auszudrücken ermöglichen mußte. Als dann am 16. Mai 1735 die Expedition abgesegelt war, gelang es Maupertuis, der sich zu der von den Engländern vertretenen Ansicht bekannte, die Pariser Akademie zu überzeugen, daß um die Frage von der Gestalt der Erde endgültig zu entscheiden, eine zweite Meridianmessung in möglichst hoher Breite nötig sei, und schlug dazu, wohl durch den damals in Paris weilenden Celsius veranlaßt, eine solche in Lappland vor [2]). Die Akademie ging darauf ein und übertrug ihm deren Führung, indem sie ihm eine Anzahl Gehilfen, darunter Clairaut zugesellte. Auch Celsius schloß sich der Expedition an, deren Absicht die Messung auf den den Festland vorgelagerten Inseln vorzunehmen freilich sich als unausführbar erwies. Dagegen fand man das etwa in der Richtung der Meridians verlaufende Tal der Torneå-Elv dazu brauchbar. Nach der mitgenommenen eisernen Toise wurden andere aus Fichtenholz von 30 Fuß Länge hergestellt, welche sich durch die Kälte nicht merklich zusammenzogen, eher etwas ausdehnten, was Maupertuis dem Gefrieren des in ihren Gefäßen noch enthaltenen Wassers zuschrieb. Unter den größten Schwierigkeiten wurden die Messungen der Basis von 7406 Toisen 5 Fuß und der Winkel durchgeführt und doppelt vorgenommen, wobei beide Messungen eine

[1]) J. Cassini, Traité de la grandeur et de la figure de la terre. Paris 1720.

[2]) Vgl. hierüber E. Du Bois-Reymond, Maupertuis-Rede in der Akademie der Wissenschaften zu Berlin, gehalten am 28. Januar 1892. Leipzig 1893, S. 20 ff.

„fast zu gute" Übereinstimmung zeigten [1]). Ihr Ergebnis sprach für die Abplattung der Erde an den Polen. Die mitgenommene Toise brachte die Expedition freilich nicht zurück, auf der Heimfahrt erlitt sie im Bottnischen Meerbusen Schiffbruch, bei dem der eiserne Stab verloren ging. Am 2. Mai 1736 hatte Maupertuis Paris verlassen, im August 1737 kehrte er dahin zurück.

Unterdessen hatten Bouguer und La Condamine Guayaquil erreicht, wo sich der letztere von seinem Gefährten trennte, um nach 13 Monaten in Quito wieder mit ihm zusammenzutreffen. Wenn auch nicht mit den Unbilden des Klimas, so hatte die peruanische Expedition einen nicht minder gefahrvollen und beschwerlichen Kampf mit der fremdartigen Natur und der überaus feindseligen Bevölkerung durchzuführen, und so dauerte es acht Jahre, bis sie ihre Messungen vollenden konnten. Auch sie ergaben eine Abplattung der Erde an den Polen. Die Rückreise machten Bouguer und La Condamine getrennt, dieser, indem er den Marañon hinabging, kam 1746 nach Paris zurück, wo Bouguer über Mexiko schon 1744 eingetroffen war. In voller Zwietracht waren sie geschieden, den ihnen anvertrauten Stab, die Toise von Peru, brachten sie zurück. Die Länge des Meridiangrades aber hatten sie zu 56753, La Condamine zu 56740 und ein weiteres Mitglied ihrer Expedition, der von der spanischen Regierung ihr zugeteilte Leutnant zur See Antonio de Ulloa (1716—1795), zu 56 768 Toisen gefunden, während das Ergebnis, das Maupertuis erhielt, 57 438 Toisen war [2]). Die so bewiesene Zunahme der Länge eines Meridiangrades vom Äquator nach den Polen ließ die Abplattung der Erde als mit Sicherheit festgestellt erscheinen und gab Veranlassung zu einer genaueren Prüfung der von Jacques Cassini erhaltenen Messungen des Meridians von Perpignan bis Dünkirchen durch La Caille und den Sohn Cassinis, César François Cassini de Thury (1714—1784), die nun als gut zu den peruanischen und lappländischen Messungen stimmendes Resultat 57 023 Toisen in 45° n. Br. ergab. Später hat man die Zahlen der amerikanischen und der lappländischen Expedition teils durch Neuberechnung, teils durch neue Messungen verbessert, und es ist danach die Länge des Meridiangrades

---

[1]) Ebenda S. 28.

[2]) Sur la figure de la terre déterminée par les observations de Mr. Maupertuis, Clairault, Camus, Le Monnier et Outhier. Amsterdam 1738.

am Äquator zu 56 732, die unter 45° n. Br. zu 57 023 und unter 66° 20′ n. Br. zu 57 196 Toisen bestimmt, so daß die Abplattung der Erde am Pole über allen Zweifel erhoben wurde [1]).

Nun schien aber noch ein anderer Weg zur Lösung der Frage nach der Abplattung der Erde möglich, der sich gelegentlich der Gradmessungen Picards ergeben hatte. Bei seinen Gradmessungen hatte der Schüler Gassendis gefunden, daß die Länge des Sekundenpendels sich mit der Breite ändere und daraufhin der Pariser Akademie den Vorschlag gemacht, diese Frage untersuchen zu lassen. Als die Akademie dann im Jahre 1671 Jean Richer (gest. 1696 in Paris) nach Cayenne sandte, um die Marsopposition vom Herbst 1672 behufs Bestimmung der Marsparallaxe zu beobachten, während Domenico Cassini die entsprechenden Beobachtungen in Paris machen sollte, so beauftragte sie ihn, zugleich eine Bestimmung der Länge des Sekundenpendels vorzunehmen. Richer beobachtete nun, daß seine Pendeluhr täglich um zwei Minuten hinter der durch die Beobachtungen der Sonne sich ergebenden Zeit zurückblieb, oder daß das Sekundenpendel um $^{5}/_{4}$‴ Par. kürzer gemacht werden mußte als in Paris, während nach der Rückreise die ursprüngliche Länge wieder herzustellen war, wenn es Sekunden geben sollte [2]). Diese Erfahrungen zu prüfen und zu erweitern, war die Expedition noch ganz besonders geeignet. Zugleich ließ sich aber auch eine Folgerung auf ihre Richtigkeit prüfen, die bereits 1728 Newton [3]) aufgestellt hatte, daß ein Berg, dessen Höhe drei und dessen Breite sechs englische Meilen betrage, das Pendel um einen eine Minute übersteigenden Wert aus seiner lotrechten Lage ablenken müsse. Bouguer machte den Versuch, in der Nähe des Chimborazo und fand in der Tat die Abweichung des Pendels nach dem Berge hin, doch erschienen seine Beobachtungen aus zwei Gründen nicht geeignet, die Dichtigkeit der Erde, die Newton auf 5 geschätzt hatte, sicherer zu bestimmen. Dazu waren sie einmal nicht genau genug, sodann aber waren sie in der Nähe vulkanischer Gipfel gemacht, und man durfte nicht annehmen, daß das diese aufbauende Material mit dem den Erdkörper zusammensetzenden übereinstimme. Da aber die Methode selbst aussichtsvoll erschien, die

---

[1]) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879, S. 765.

[2]) Richer, Observations astronomiques et physiques faites en l'isle de Cayenne. Paris 1679.

[3]) Newton, A treatise of the system of the World. London 1728. Opuscula. Lausannae et Genevae 1744, Vol. II, S. 21.

Dichtigkeit der Erde zu bestimmen, so unternahmen es 1774 der Professor an der Militärakademie zu Woolwich Charles Hutton (1737—1823) und der Königliche Astronom der Sternwarte in Greenwich Nevil Maskelyne (1732—1811), der 1761 den Venusdurchgang in St. Helena beobachtet hatte, den von Newton angenommenen Wert durch Beobachtungen, die sie in der Heimat anstellten, zu prüfen. Sie wählten dazu die Gebirgskette des Shehalliens, welche, in westöstlicher Richtung verlaufend, England von Schottland trennt, und untersuchten die Abweichungen des Pendels an seiner nördlichen und südlichen Seite [1]). Sie bestimmten die Dichtigkeit der Erde zu 4,481 [2]). Wenn nun auch die Genauigkeit der astronomischen Beobachtungen zur Abweichung des Pendels nichts zu wünschen übrig ließ, so konnte doch die für die Berechnung jenes Wertes notwendige Bestimmung der Dichtigkeit des Berges nur annähernd erfolgen. Diese Ungenauigkeit suchte der Edinburgher Professor der Mathematik John Playfair (1748—1819) durch die geognostische Untersuchung des Shehallien zu beseitigen und erhielt nunmehr den Wert 4,713.

Einen andern Weg, die Dichtigkeit der Erde zu bestimmen, schlug um 1768 das Mitglied der Royal Society, der Pfarrer zu Tornhill in Yorkshire John Michell (gest. 1793), ein. Er ging dabei von Versuchen aus, die den Zweck verfolgten, mittels der ihnen inne wohnenden lebendigen Kraft der Lichtteilchen die stoffliche Natur des Lichtes gegen Euler zu erweisen. Schon Homberg und Hartsoeker glaubten festgestellt zu haben, daß die konzentrierten Sonnenstrahlen lediglich durch den Stoß leichte Körperchen in Bewegung setzen könnten [3]), während Mairau (1678—1771) diese Wirkung auf ein eisernes Schaufelrädchen von nur 1,6 g (30 Grane) Gewicht im lufterfüllten Raum nachzuweisen nicht gelungen war. Den Gedanken, den nämlichen Versuch im luftleeren Raum zu wiederholen, führte er nicht aus, weil er in der Atmosphäre neben den Lichtteilchen noch ein dünneres Medium vermutete, welches durch das Glas ungehindert hindurchgehen konnte

[1]) Hutton, Survey of the Shehallien to ascertain the earths mean density. Philos. Transactions 1778, S. 781.

[2]) Hutton, On the mean density of the earth Philosophical Transactions 1821, S. 276.

[3]) Homberg, Sur la force de la lumière pou [illegible]presser et pousser. Histoire de l'Académie de Paris. 1708, S. 25.

und den Erfolg zweifelhaft machen müßte [1]). In etwas geänderter Form wiederholte Michell diesen Versuch; er nahm einen in seiner Mitte mit einem Achathütchen versehenen Stahldraht, brachte an seinem einen Ende ein dünnes Kupferblech, am andern eine Schrotkugel an und ließ ihn auf einer Spitze frei schweben, während eine auf ihm befestigte schwach magnetische Stahlnadel ihm eine feste Ruhelage gab. Der ganze Apparat befand sich in einem Kasten und wurde durch die auf das Kupferblech mit Hilfe eines Hohlspiegels geworfenen konzentrierten Sonnenstrahlen aus seiner Gleichgewichtslage abgelenkt. War nun diese Einrichtung auch das erste Radiometer, so benutzte sein Erfinder es doch nicht zu Versuchen, die über die Wirkung der Strahlen wie dieses Aufschluß geben konnten. Denn er machte den Kasten nicht luftleer. Obwohl nun der Draht durch die Sonnenstrahlen abgelenkt wurde, so überzeugte ihn doch die Formänderung des Kupferbleches, daß die Ursache der Bewegung nicht in der Stoßwirkung der Sonnenstrahlen, sondern in deren Wärmewirkung gesucht werden mußte [2]). Nach dem Muster dieses Apparates stellte er aber einen ähnlichen her, mit dessen Hilfe er die Dichtigkeit der Erde bestimmen wollte. Den Stahldraht ersetzte er durch einen leichten Holzstab, der an einem feinen Draht horizontal aufgehängt wurde, und an seinen Enden Bleikugeln trug. Sein Tod verhinderte ihn aber daran, die Versuche mit dieser ersten Drehwage auszuführen, sie kam aus seinem Nachlasse in den Besitz von Wollaston, und dieser gab sie an Cavendish, der die durch große seitwärts aufgestellte verschiebbare Bleimassen hervorgerufene Ablenkung der Bleikugeln mit Hilfe von Schwingungsbeobachtungen bestimmte; mittels dieses bis in die neuere Zeit immer wieder benutzten Verfahrens bestimmte er 1798 die Dichtigkeit der Erde zu 5,48 [3]).

f) Die meteorologischen Instrumente.

Durch die Arbeiten Réaumurs war der Fortschritt, den Fahrenheit für die Messung der Temperaturen angebahnt hatte, wieder

---

[1]) Mairan, Sur les impulsions des rayons solaires. Mémoires de l'Académie de Paris. 1747, S. 630. Vgl. auch Berthold, Notizen zur Geschichte des Radiometers. Poggendorffs Annalen. Leipzig 1876, Bd. 158, S. 483.

[2]) Pristley, Geschichte der Optik. Deutsch von Klügel. Leipzig 1775, S. 282.

[3]) Cavendish, Experiments to determine the density of earth. Philosophical Transactions 1788, Bd. 88, S. 469. Gilberts Annalen, Bd. II. Leipzig 1799, S. 1.

illusorisch geworden. Die Unsicherheit in der Herstellung der zu ihren Messungen dienenden Instrumente war größer als je geworden, und so bemühte sich 1736 der Petersburger Professor der Physiologie Josias Weitbrecht vergeblich, übereinstimmende Thermometer nach dem Réaumurschen Verfahren herzustellen [1]). Da dachte man denn daran, Musschenbroeks Ausdehnungsapparat für die Wärmemessung verwendbar zu machen. Um die nötige Empfindlichkeit zu erhalten und doch mit kürzeren Stäben auszukommen, nahm 1760 das Mitglied der Royal Society Keane Fitzgerald (gest. 1782) vier Metallstäbe, von denen jeder beim Ausdehnen auf den einen Arm eines zweiarmigen auf einer Schneide ruhenden Hebels wirkte, während dessen anderer Arm den folgenden Stab emporhob. Der letzte dieser Stäbe setzte eine Rolle und einen auf ihrer Achse befestigten Zeiger in Bewegung, dessen Stand die Temperatur ablesen ließ [2]). Den gleichen Gedanken suchte 1762 der damalige Petersburger Professor Johann Ernst Zeiher, der 1720 in Weißenfels geboren, 1784 als Professor der Mathematik in Wittenberg starb, auszuführen, jedoch mit dem Unterschiede, daß er eine größere Zahl von Metallstäben miteinander verband [3]).

Konnten solche Apparate in einzelnen Fällen gute Dienste leisten, wie ja noch in neuerer Zeit Lamonts Registrierthermometer bewies, so war doch nicht daran zu denken, daß sie die damals schon weit verbreiteten so viel handlicheren Flüssigkeitsthermometer verdrängten, und es erhoben sich bald, wenn auch anfangs nur vereinzelte Stimmen, welche auf ihre Verbesserungsfähigkeit durch Ersetzen des Alkohols durch Quecksilber hinweisen. Darauf führten bereits 1749 den Pfarrer Henry Miles in Tooting in Surrey (gest. 1763) seine als Mitglied der Royal Society angestellten zahlreichen meteorologischen Beobachtungen [4]); aber erst dem 1727 in Genf geborenen, 1817 in Windsor gestorbenen Göttinger Professor Jean André Deluc, der freilich nie in Göttingen, wohl aber abwechselnd in London, Hannover, Berlin und Braun-

[1]) Weitbrecht, De Thermometris concordantibus. Commentarii Petropolitani VIII, 1736, S. 210.

[2]) Fitzgerald, Description of a metallic Thermometer. Philosophical Transactions 1760, Vol. 51, II, S. 823.

[3]) Zeiher, Thermometri metallici descriptio. Commentarii Petropolitani, IX, 1762/63, S. 305.

[4]) Miles, On thermometers and the weather. Philosophical Transactions 1749, Vol. 46, Nr. 491, S. 1.

schweig lebte, gelang es, 1772 das Quecksilberthermometer wieder zu Ehren zu bringen [1]). Indem er zwar die Réaumursche Skala beibehielt, aber den Alkohol durch Quecksilber ersetzte, ist das noch jetzt vielfach benutzte Thermometer, welches die 80 teilige Skala trägt, nicht das Réaumursche, sondern das Delucsche.

Völlig aufgegeben hatte man freilich die Anwendung des Quecksilbers nicht. Benutzte man es doch bei registrierenden Apparaten, wenn auch meistens nur als Index. Den ersten von ihnen hat 1740 der Petersburger, später Tübinger Professor Georg Wolfgang Krafft (1701—1754) angegeben, ein Luftthermometer mit Alkohol oder Quecksilber als Sperrflüssigkeit, dessen Skalenrohr in bestimmten Abständen mit kleinen angeschmolzenen Gefäßen versehen war, in die bei ihrem Steigen die Sperrflüssigkeit hineintrat und bei ihrem Zurückweichen blieb [2]). Eine viel größere Genauigkeit ergaben die verschiedenen Apparate, die Lord Charles Cavendish, der Vater von Henry Cavendish (1703—1783), 1757 zur Beobachtung der höchsten und niedrigsten während eines bestimmten Zeitraumes erreichten Temperatur angab [3]). Bei den Maximumthermometern reichte das in eine Spitze ausgezogene Thermometerrohr in ein an seinem oberen Ende angeschmolzenes Glasgefäß, in das ein Teil der thermometrischen Substanz bei der Erwärmung eintrat, die bei folgender Abkühlung darin zurückblieb. Konnte hier die Ausdehnung von Quecksilber oder Alkohol benutzt werden, so war bei den Minimumthermometern das Gefäß mit Alkohol gefüllt und stand durch ein U-förmiges Rohr mit dem eigentlichen Thermometerrohr in Verbindung. Indem bei genügender Abkühlung etwas von dem Quecksilber in das Gefäß oder in eine vor ihm angebrachte kugelförmige Erweiterung des Rohres trat, konnte die erreichte niedrigste Temperatur beobachtet werden. Beide Beobachtungsarten sind auch jetzt noch in Gebrauch, jene bei den Maximum- und Minimumthermometern von Walferdin, diese bei dem Thermometrograph, den 1782 James Six (gest. 1793) nach dem Muster der Cavendishthermometer herstellte, indem er den beiden Enden des Quecksilberfadens im U-Rohr

---

[1]) Deluc, Recherches sur la modification de l'Atmosphère. Genève 1772, S. 330.

[2]) Krafft, Commentarii Petropolitani XIII. ad annum 1741—43. Petrop. 1751. Vgl. Nova Acta Eruditorum 1755, S. 372.

[3]) Cavendish, On some thermometers for particular uses. Philosophical Transactions 1757. Vol. 50, I, S. 300.

Glasstäbchen aufsetzte, die durch ein darum gewundenes Haar festgehalten seinen höchsten und niedersten Stand angeben [1]).

Während diese Vorschläge in neuerer Zeit in unveränderter Weise ausgeführt, ja sogar erst überhaupt in Anwendung genommen wurden, fiel die erste Ausführung des Aneroids bald wieder der Vergessenheit anheim. Es war wieder Zeiher, der als erster ein solches Instrument verfertigte, unabhängig von der ersten Idee, die Leibniz davon gefaßt hatte, so wie auch die erste Ausführung des Apparates von Vidi im Jahre 1848, die sich als wirklich brauchbar erwies, eine unabhängige Erfindung darstellt. Zeiher verschloß einen Zylinder, der mit einem durch Ledereinlage luftdicht angesetzten Boden versehen war, durch einen mit Öl und Talg gedichteten Kolben, und verband ihn mit dem ohne besondere Vorsicht aufgesetzten Deckel durch eine entsprechend gespannte Schraubenfeder. Eine Rolle, die eine Blattfeder gegen die Kolbenstange oberhalb des Deckels preßte und auf ihrer Achse einen Zeiger trug, ließ den Barometerstand ablesen. Der Zylinder wurde unterhalb des Kolbens luftleer gepumpt, welche Operation von Zeit zu Zeit zu wiederholen war. Nach ihrer Vornahme mußte die Skala immer wieder von neuem ausgewertet werden [2]).

Von den Methoden, die Luftfeuchtigkeit durch Gewichtszunahme hygroskopischer Körper zu bestimmen, kam man immer mehr zurück, obwohl noch in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts von Ferguson [3]) (1710—1776) und Inochodzow [4]) (1741—1806) solche gemacht wurden. Dagegen nahm John Smeaton [5]) (1724—1792) den zuerst von Molyneux [6]) gemachten Vorschlag, die Verkürzung der Fasern eines Seiles bei zunehmender Feuchtigkeit zu benutzen, wieder auf, dessen mit der Drehung verbundene Längenänderung

[1]) Six, Account of an improved thermometer. Philosophical Transactions 1782, Vol. 72, S. 72.

[2]) Zeiher, Descriptio instrumenti cujusdam nautis barometri ad instar inservituri. Commentarii Petropolitani 1760—61, T. VIII, S. 274.

[3]) Ferguson, Description of a new hygrometer. Philosophical Transactions 1764, IV, S. 259.

[4]) Inochodzow, Novum hygrometri genus descriptum. Acta Academiae Scientiarum imperialis Petropolitanae 1778, T. II, S. 193.

[5]) Smeaton, Description of a new hygrometer. Philosophical Transactions 1771, Vol. 61, S. 198.

[6]) Molyneux, Description of a new hygrometer. Ebenda 1685, S. 1032. Acta Eruditorum 1686, S. 388.

schon von Teuber bestimmt worden war. Doch blieb man trotz so gewichtiger Empfehlung bei den schon erwähnten bereits 1676 im Gebrauch befindlichen Darmsaiten, deren Verlängerung oder Verkürzung auf den Wechsel der Luftfeuchtigkeit schließen ließ, und deren mehrere zusammengewunden ebenfalls einen Zeiger über einem Teilkreis sich hin und herdrehen lassen konnten. Solche zusammengedrehte Darmsaiten verwandte denn auch Lambert zur Untersuchung der Luftfeuchtigkeit, obwohl er auch den Versuch machte, die Verlängerung oder Verkürzung einer Saite, die er an einem schraubenförmig gewundenen Drahte befestigte, unmittelbar zu diesem Zweck zu benutzen[1]). Deluc dagegen glaubte 1774 auf dem Wege, den Amontons als erster eingeschlagen hatte, ein brauchbareres Hygrometer erhalten zu können, wenn er einen Apparat nach Art eines Thermometers mit einem hohlen Elfenbeinzylinder als Gefäß herstellte und mit Hilfe eines daneben angebrachten Thermometers die Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme berücksichtigte[2]). Aber obwohl noch 1780 Anders Johan Retzius (1742—1821) für die 1780 errichtete meteorologische Klasse der seit 1763 in Mannheim bestehenden Akademie der Wissenschaften das Delucsche Hygrometer einführte, bei dem nur der Elfenbeinzylinder durch die Spule einer Gänsefeder ersetzt worden war[3]), eine Abänderung, als deren Urheber Copineau allerdings Buissart nennt[4]), so gab doch Deluc selbst seine Anordnung wieder auf und kehrte zu einer einfacheren Konstruktion zurück, bei der eine dünne, am einen Ende befestigte Fischbeinlamelle durch ihre Verlängerung oder Verkürzung die Achse eines Zeigers hin und herdrehte[5]). Auch dieses Instrument hat sich nicht behaupten können, wohl aber dasjenige, was 1783 der Genfer Professor Horace Bénédicte de Saussure nach seinem Muster herstellte, den Fischbeinstreifen aber durch ein entfettetes blondes Menschenhaar ersetzte[6]). Die 100 gleichen Teile seiner

---

[1]) Lambert, Essai d'hygrometrie. Mémoires de l'Académie des Sciences à Berlin 1772, S. 65.

[2]) Deluc, On a new hygrometer. Philosophical Transactions 1774, Vol. 63, T. I, S. 404.

[3]) Retzius, Météorologie appliquée à la médecine et à l'agriculture.

[4]) Copineau, Journal de Physique 1780, T. 15.

[5]) Deluc, Sur l'hygromètre de baleine. Ebenda 1788.

[6]) De Saussure, Essais sur l'hygrometrie. Neufchâtel 1783. Vgl. Gehlers physikalisches Wörterbuch, Bd. V. Leipzig 1829, S. 600. S. Ostwalds Klassiker Nr. 115 und 119.

Skala, deren Endpunkte der Zeiger in einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre unter einer Glasglocke und in einer andern von Luft, die durch Erhitzen völlig getrocknet war, einnahm, ersetzte Gay Lussac durch eine andere, die die Feuchtigkeit in Prozenten der Sättigungsmenge angab. Die Unabhängigkeit seiner Angaben von der Temperatur machte die Berechnung dieses Hygrometers sehr bequem, und seit Koppe ein einfaches Verfahren, es zu prüfen, angegeben hat, ist es auch für die meteorologischen Beobachtungen der Neuzeit für genügend zuverlässig befunden worden.

Ebenso haben die Regenmesser, wohl ihrer Einfachheit wegen, nur wenig Veränderungen erfahren, seit 1734 der Berliner Professor Augustin Grischow (1683—1749) ihn trichterförmig gestaltet und das Abflußrohr durch die enge Öffnung im Deckel eines Meßgefäßes geleitet hatte [1]. Denn das der Mannheimer Akademie unterschied sich von jenem nur durch ein längeres Ableitungsrohr, in dessen Mitte sich ein Sammelgefäß befand, aus dem das Wasser in das Meßgefäß abgelassen werden konnte. Der Verdunstungsmesser der Akademie war ein parallelopipedisches Glasgefäß mit einer in eine seiner Flächen eingesetzten Glasscheibe, neben der ein Längenmaßstab aufgestellt war [2], wie ein ähnliches bereits 1749 der Petersburger Akademiker Georg Wilhelm Richmann (1711—1755) zur Aufstellung des Gesetzes der Verdampfung benutztes unter dem Namen des Atmometers angegeben hatte [3].

Endlich ist noch der Weiterbildung der Anemometer zu gedenken, die zu mancherlei recht zusammengesetzten Apparaten führte. Bereits 1694 hatte der Lehrer der Mathematik Jacques Ozanam (1640 bis 1717), der in Lyon später in Paris lebte, den auch jetzt noch öfters verwirklichten Plan ausgeführt, die Bewegung der Windfahne durch Räderübersetzung auf einen im Zimmer befindlichen, vor einem senkrechten Zifferblatt sich drehenden Zeiger zu übertragen [4]. Zahlreich

[1]) Grischow, Hyetometri in Societatis Regiae Borussiae. Scientiarum usum adornati descriptio. Miscellanea Berolinensia 1734, T. IV, S. 349.

[2]) Traumüller, Die Mannheimer meteorologische Gesellschaft. Leipzig 1885, S. 44. Vgl. Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899, S. 351.

[3]) Richmann, Constructio Atmometri. Commentarii Petropolitani 1749, T. II, S. 121.

[4]) Ozanam, Récréations mathématiques et physiques, T. II. Paris 1694. Vgl. Gehler, Physikalisches Wörterbuch, Bd. X, 2. Abt. Leipzig 1842, S. 2149.

waren die Vorschläge neben der Richtung des Windes auch dessen Geschwindigkeit zu messen. Dazu wendete man, seit Wolf 1709 den Vorschlag zu dem seinigen gemacht hatte [1]), meist Windmühlenflügel oder Windrädchen an, die, wenn nötig, durch Zahnradübersetzung die Drehungsgeschwindigkeit auf einen Zeiger übertrugen. Indem der Petersburger Professor der Chemie, Michael Wassiljewitsch Lomonossow (1711—1765) die Anzahl der Umdrehungen eines Windrades 1749 auf ein Zählwerk mit Glocke übertrug [2]), gedachte er die in einer bestimmten Zeit ausgeführten zu ermitteln, und indem er 1751 sie durch Rad- und Seilübersetzung einer Rolle mitteilte, die bei ihrem tiefsten Stande jedesmal etwas Quecksilber ausfließen ließ, hoffte er sogar sie registrieren zu können [3]). Die recht zusammengesetzte Einrichtung wurde bald wieder fallen gelassen, wie die noch kompliziertere, welche 1734 der Generalpostdirektor von Frankreich, der Comte Louis Leon Pajot d'Ons-en-Bray (1678—1753) angegeben hat, wohl schwerlich jemals ausgeführt wurde [4]). 1790 ging Pélisson auf den ersten Vorschlag von Lomonossow zurück [5]), indem er durch den Genfer Uhrmacher Droz, dessen Automaten die damalige Welt in Erstaunen setzten, ein Anemometer mit vier Windmühlenflügeln anfertigen ließ, deren Umdrehungen Glockenschläge angaben. Die Geschwindigkeit des Windes ließ sich nun aber auch aus dem Drucke messen, den er auf eine ihm entgegenstehende Platte ausübt, da Newton gefunden hatte, daß die Kraft der bewegten Luft dem Quadrate ihrer Geschwindigkeit proportional sei [6]). Das benutzte Bouguer zu seinem 1746 erdachtem Windstärkemesser, indem er mit Hilfe einer Windfahne dem Winde eine quadratische Platte entgegensetzte, die mit einem an ihr befestigten Stiel in eine zylindrische Hülse hereinreichte und eine in dieser befindliche Feder zusammenpreßte, während eine

---

[1]) Wolf, Elementa aerometriae. Lipsiae 1709.

[2]) Lomonossovius, Commentarii Petropolitani 1749, T. II, S. 128.

[3]) Derselbe. Anemometrum. Novi Commentarii Academiae Petropolitanae 1751.

[4]) D'Ons-en-Bray, Anemomètre. Mémoires de l'Academae de Paris 1734.

[5]) Beobachtungen und Entdeckungen aus der Naturkunde von einer Gesellschaft naturforschender Freunde in Berlin, Th. X, 1790. Vgl. Gehler, Physikalisches Wörterbuch, Bd. X, 2. Abt. Leipzig 1842, S. 2167.

[6]) Newtoni Philosophiae naturalis principia mathematica. Ed. altera. Coloniae Allobrogum 1760, T. II., Abschnitt 1,

auf ihr angebrachte Teilung die Größe des Druckes ablesen ließ. Indem ein Sperrhaken den Stiel in seiner äußersten Stellung festhielt, konnte der Apparat auch dazu dienen, den größten Druck, den der Wind in einer bestimmten Zeit ausgeübt hatte, zu messen [1]). Auch der zu jener Zeit der Royal Society gemachte Vorschlag, eine an zwei um eine Achse drehbaren Stangen hängende Platte durch den Wind heben zu lassen und aus dem Erhebungswinkel auf dessen Stärke zu schließen, tauchte immer wieder auf und ist bis in die neueste Zeit beibehalten worden.

g) Die Wärmelehre und die Chemie.

Die Annahme einer stofflichen Natur der Wärme hatte immer mehr die andere, daß ihr Wesen in der schwingenden Bewegung des Äthers bestehe, mehr und mehr verdrängt. Namentlich war es Pieter van Musschenbroek gewesen, der die Wärme nicht nur als Stoff, sondern auch als einen mit Gewicht begabten Stoff ansehen zu müssen glaubte und die Gewichtsvermehrung beim Verkalken der Metalle, wie man damals deren Oxydation nannte, der Aufnahme einer Feuermaterie zuschrieb und sich dabei auf die Versuchsergebnisse der namhaftesten Chemiker seiner Zeit berief [2]). Aber welcher Art war diese Feuermaterie, dieser Wärmestoff? Darüber hatte bereits auf Anregung des Leidener Professors der Medizin, Botanik und Chemie Hermann Boerhave (1668—1738) Fahrenheit Versuche angestellt, indem er Flüssigkeiten von bekannter Temperatur zusammenbrachte und die Temperatur nach ihrer Mischung bestimmte [3]). Daß diese Versuche die von ihm gemachte Annahme stützten, daß die Mischungstemperatur der halben Differenz der Temperaturen entsprach, die die Körper vor der Mischung zeigten, fand er zwar nicht bestätigt. Doch hatten die Versuche nicht mit solcher Genauigkeit angestellt werden können, daß aus ihrem Ergebnis auf die Richtigkeit dieser Annahme zu schließen gewesen war. Daß dies nicht der Fall sein könne, bewies 1747 Richmann, indem er die nach ihm benannte und später zur Kalibrierung der Thermometer in freilich unstatthafter Weise vielfach benutzte Regel aufstellte, wonach bei der Mischung zweier Wassermengen von verschie-

[1]) Bouguer, Traité du navire. Paris 1760.

[2]) P. van Musschenbroek, Introductio ad Philosophiam naturalem. (Posthum) T. II. Lugduni Batavorum 1762, § 1578, S. 632.

[3]) Boerhave, Elementa chemiae. Lugduni Batavorum 1732, Vol. II, S. 296.

denen Temperaturen, die wärmere so viel an Wärme verliert, als die kältere gewinnt [1]). Ließ dies auf den Übergang des Wärmestoffes vom wärmeren zum kälteren schließen, so fand 1754 Deluc, daß der Wärmestoff in dem kälteren sich dem Nachweise durch das Thermometer ganz entziehen könne [2]). Veränderte sich doch der Stand eines Thermometers in einem mit Eis gefülltem Glase nicht, so lang das Eis schmolz, die Wärme schien latent zu werden. Den Widerspruch, der in der von Boerhave gemachten Annahme und der von Richmann gefundenen Regel lag, löste Joseph Black. Geboren 1728 am Ufer der Garonne, in der Nähe von Bordeaux, wo sein aus Belfast eingewanderter Vater, der von schottischer Herkunft war, ein Weingeschäft betrieb, wurde er zunächst Professor in Glasgow, dann in Edinburg, wo er 1799 starb. Seine Versuche über die Wärme stellte er in den Jahren 1757 bis 1763 an, teilte ihr Ergebnis 1762 im philosophischen Klub Edinburghs mit und legte sie alljährlich in seinen Vorlesungen dar [3]). Er zeigte, daß Boerhave die unbegründete Voraussetzung gemacht habe, daß gleiche Raummengen eines Stoffes gleiche Beträge an Wärme enthielten, und daß er also Wärmemenge und Wärmeintensität, also Temperatur, miteinander verwechselt habe. Daß dies nicht angehe, zeigte Black, indem er die latente Wärme des Eises genau genug zu 79,5° C bestimmte und so die Annahme Delucs auch quantitativ begründete. Indem er dann seinem Schüler und Nachfolger William Irvine (gest. 1787) anregte, auch die latente Schmelzwärme von Spermazeti und Bienenwachs mit dem gleichen Erfolg zu bestimmen [4]), und indem er seine Untersuchungen auch auf die latente Dampfwärme ausdehnte, gelang es ihm, obgleich der gefundene Wert für die letztere nicht sehr genau ausfiel, seine Folgerungen zu verallgemeinern. Aber auch den weiter als notwendig erscheinenden Nachweis, daß verchiedene Stoffe ein verschiedenes Aufnahmevermögen für Wärme

---

[1]) Richmann, Inquisitio in legem, secundum quam calor fluidi in vaso contenti certo temporis intervallo in temperie aëres constanter eadem decrescit vel crescit et detectio ejus, simulque thermometrorum perfecte concordantium construendi ratio hinc deducta. Novi Commentarii Academiae Petropolitanae, T. I, 1750, S. 168.

[2]) Deluc, Recherches sur les modifications de l'atmosphère. 2. Ed. Paris 1774, Vol. I, § 438.

[3]) Ramsay, Joseph Black. M. D. P. Diergart, Beiträge aus der Geschichte der Chemie. Leipzig und Wien 1909, S. 447.

[4]) Irvine, Essay on chemical subjects, edited by his Son. London 1805.

haben müßten, brachte er bei, indem er zeigte, daß dasjenige des Quecksilbers viel kleiner als das des Wassers sei. Dieses Aufnahmevermögen der verschiedenen Stoffe für Wärme oder deren eigentümliche Wärme, wie er sie nannte, suchte nun der 1732 in Weimar geborene, 1796 in Stockholm als beständiger Sekretär der dortigen Akademie der Wissenschaften verstorbene Johann Karl Wilcke seit 1772 zu bestimmen, sei es, daß er, wie englischerseits behauptet wird, von Blacks Arbeiten Nachricht erhalten hatte, sei es, daß ihn, wie er selbst angibt, Klingenstjerna dazu anregte [1]). Seine ersten Versuche galten der Bestimmung der latenten Wärme des Eises, die er durch Aufgießen von heißem Wasser auf Eis zu 72° C bestimmte. Da er aber fand, daß wegen des Anhaftens des Wassers am Eise er auf diesem Wege genaue Ergenisse nicht erhalten konnte, so bediente er sich der ebenfalls von Black und Irvine bereits verwendeten Methode der Mischungen, indem er einen bis zu einer bekannten Temperatur erhitzten Körper in eiskaltes Wasser warf und dessen Temperaturerhöhung bestimmte [2]). Die Versuche Blacks kannte aber jedenfalls der Londoner Arzt und Professor an der Militärakademie zu Woolwich Adair Crawford, als er 1777 seine viel Aufsehen erregende Theorie der Wärme aufstellte, zu deren Begründung er Versuche auch über Gase anstellte. Dabei brauchte er zuerst den Ausdruck Wärmekapazität oder komparative Wärme, während Franz Xaver von Baader (1765—1841) statt dessen den Ausdruck wärmebindende Kraft benutzte [3]).

Alle diese Arbeiten gingen von der Annahme aus, daß die Wärme ein Stoff sei, und wenn ihre Verfasser, wie es der Göttinger Professor Georg Christoph Lichtenberg (1744—1799) Crawford vorwirft, sich in dieser Hinsicht nicht entschieden genug äußerten, so trug er, indem er sich in der vielgelesenen Naturlehre von Erxleben, dessen dritte bis achte Ausgabe er besorgte [4]), rückhaltslos für die Ansicht erklärte, nicht wenig zu deren Verbreitung bei [5]). Wo aber sollte man diesen Stoff suchen? Konnte man nicht erwarten, daß er, den man mit dem Thermometer so leicht nachweisen konnte, auch dem Chemiker begegnet

---

[1]) Gehler, Physikalisches Wörterbuch, X, Bd. 1, Abt. Leipzig 1841, S. 669.

[2]) Ebenda S. 64 und 608.

[3]) Gehler a. a. O., S. 667.

[4]) Erxlebens Naturlehre, 6. Aufl. Göttingen 1790, S. 434.

[5]) Gehler a. a. O. S. 67.

sein müsse? Die Chemie der damaligen Zeit schien imstande, diese Frage bejahend zu beantworten.

Derselbe Becher, der aus Rache Leibnizen zu verspotten unternommen hatte, hatte die Annahme der drei alle Körper zusammensetzenden Elemente, Salz, Schwefel und Quecksilber in neuer Form in die Chemie einführen zu sollen geglaubt, indem er statt ihrer drei Erden, die verglasbare, die brennbare und die merkurialische setzte. Die brennbare, die terra pinguis, sollte bei der Verbrennung von Körpern oder bei der Verkalkung von Metallen entweichen, die Metalle sollten demnach, wie es der alchymistische Gedankengang forderte, zusammengesetzte Körper sein [1]). Diese Ansichten hatte der 1660 in Ansbach geborene Haller Professor und später als Leibarzt des Königs von Preußen in Berlin 1734 verstorbene Georg Ernst Stahl zu den seinigen gemacht. Nur nannte er Bechers terra pinguis Phlogiston, und wollte in ihm nur das Prinzip des Brennbarseins sehen. Aber er dachte es sich doch als Stoff, wenn er es das „stoffliche und körperliche Prinzip" nennt, „welches lediglich durch seine sehr rasche Bewegung zu Feuer wird [2])". Es lag nun nahe, diesen hypothetischen Körper für den Wärmestoff zu erklären, und obgleich in die zwei letzten Jahrzehnte des 18. Jahrhunderts die Arbeiten über die Gase fielen, welche zu den großartigsten Entdeckungen führten, so schienen diese nur dazu angetan, die phlogistische Theorie zu stützen.

1766 hatte Cavendish den Wasserstoff entdeckt und geglaubt, in ihm das Phlogiston gefunden zu haben [3]), und namentlich hatte der Privatmann, frühere Advokat Richard Kirwan (1750—1812) daraufhin die Anschauung gegründet und verteidigt, daß die Metalle aus Metallkalken und Wasserstoff, also Phlogiston, beständen [4]). Als dann Pristley und andere beobachteten, daß sich beim Verbrennen von Wasserstoff stets Feuchtigkeit bilde, und Watt um die Erklärung

---

[1]) Becher, Physicae subterraneae Libri II. Francofurti 1669. Theses chymicae 1682. Vgl. E. von Meyer, Geschichte der Chemie, 2. Auflage. Leipzig 1895, S. 96.

[2]) »Materiale et corporeum principium, quod solo citatissimo motu ignis fiat.« Vgl. Kopp, Geschichte der Chemie, Bd. III. Braunschweig 1845, S. 112.

[3]) Cavendish, Experiments of factitious air. Philosophical Transactions 1766.

[4]) Kirwan, Experiments and observations on the specific gravities and attractive powers of varions saline substances. Philosophical Transactions 1781 und 1782.

dieser Erscheinung bat, so antwortete dieser ihm 1783, daß das Wasser aus Sauerstoff und Phlogiston bestehen müsse. Daraufhin teilte Cavendish auf Grund von Versuchen, die er bereits 1781 angestellt hatte, und die ein auch nach dem späteren Standpunkt der Wissenschaft überraschend genaues Resultat ergeben hatten, mit, daß Wasserstoff entweder dephlogistisiertes Wasser sei oder daß im Wasser der Sauerstoff mit Phlogiston verbunden sei [1]).

Den Sauerstoff aber hatte bereits in den Jahren von 1771—1773 der 1742 in Stralsund geborene, 1786 in Köping in Schweden verstorbene Apotheker Karl Wilhelm Scheele entdeckt, seine Entdeckung aber nicht sogleich veröffentlicht. Wenn auch der Dissenterprediger und Dr. jur. Joseph Pristley, der 1733 in Leeds geboren, 1804 in Pennsylvanien starb, wohin er infolge eines gegen ihn gerichteten Aufruhrs des Birminghamer Pöbels ausgewandert war, um dieselbe Zeit neben andern Gasen, die er als der erste mit Quecksilber statt mit Wasser absperrte, auch den Sauerstoff beobachtet, aber im Gegensatz zu Scheele seine Natur nicht erkannt hatte, so kam jener diesem in der Veröffentlichung zuvor, und erst die neueste Zeit hat Scheele die ihm gebührende Priorität nachweisen können [2]). Aber während Scheele den Sauerstoff für eine Verbindung von Phlogiston mit Wasser und einer hypothetischen Säure hielt, welche Verbindung durch Entziehung des Phlogistons in Stickstoff übergehe, durch dessen Zuführung aber zunächst Wärme und dann Licht entstehen lasse [3]), so hielt ihm Pristley für dephlogistisierte Luft, die das Atmen und die Verbrennung unterhalte [4]).

So lagen die Dinge, als Lavoisier seine Untersuchungen über die Verbrennung begann. Antoine Laurent Lavoisier war 1743 als Sohn eines reichen Großhändlers geboren, 1768 zu einem der Generalpächter der königlichen Steuern ernannt und in der Folge mit verschiedenen Verwaltungsposten betraut worden. 1794 wurde er um seiner Stellung als Generalpächter willen zum Tode verurteilt und mit 27 anderen Generalpächtern am 8. Mai mit der Guillotine hingerichtet. Wenn nun auch Lavoisier als Chemiker nicht im entferntesten Scheele oder Pristley an die Seite zu stellen ist,

---

[1]) Kopp, Geschichte der Chemie, Bd. III. Braunschweig 1845, S. 267.

[2]) E. von Meyer, Geschichte der Chemie, 2. Auflage. Leipzig 1895, S. 113.

[3]) Kopp a. a. O., Bd. III, S. 157 und 201.

[4]) Ebenda S. 200.

wenn er sich der Chemie gegenüber als Dilettant[1]) verhielt, so befähigte ihn die ihm mangelnde Voreingenommenheit in die so verwickelten Verhältnisse volles Licht zu bringen. Er selbst hat keine nennenswerten Entdeckungen gemacht, aber er hat die seiner Vorgänger geschickt benutzt, um die Unhaltbarkeit der Phlogistontheorie nachzuweisen. Daß er dabei die wahren Entdecker der von ihm benutzten Tatsachen nicht nennt, diese vielmehr als die seinigen hinzustellen stets bestrebt ist, gereicht ihm freilich nicht zur Ehre, und so war auch die Abscheidung des Sauerstoffes aus Quecksilberkalk Pristley längst gelungen, als Lavoisier dessen dephlogistizierte Luft als einen Bestandteil der Luft, eine eminent reine Luft erkannte, mit der die verbrennenden Körper eine Verbindung eingehen, und welche die Atmung unterhält. So wurde seine Oxydationstheorie zu einer antiphlogistischen, und ihm gebührt der Ruhm, das Phlogiston enttront und die Chemie in die Bahnen geleitet zu haben, auf denen sie zu einer selbständigen Wissenschaft geworden ist. So führte er den Namen Sauerstoff ein, und indem er 1789 mit Berthollet, Guyton de Morveau und Fourcroy die Annalen der Chemie gründete und in Gemeinschaft mit diesen Männern, die noch jetzt angewandte chemische Nomenklatur in ihren Grundsätzen schuf, muß man anerkennen, daß mit seinen Arbeiten die moderne Chemie beginnt[2]). Das berechtigt freilich die französischen Chemiker keineswegs, die Chemie eine französische Wissenschaft zu nennen, welche durch Lavoiser geschaffen worden sei[3]). Ebensowenig hat er den Gebrauch der Wage in die Chemie eingeführt, wenn es ja auch natürlich war, daß sie infolge seiner Arbeiten eine immer ausgedehntere Anwendung fand. So hielt er denn auch noch die Wärme wie das Licht für einen Stoff, der in Verbindung mit einem festen Körper ein Gas ergeben sollte, so daß bei einer Verbindung eines Gases mit irgendeinem Körper der feste Körper die Verbindung eingeht, während die Wärme frei wird. In der neuen Nomenklatur erhielt dieser Stoff den Namen Calorique. Bei der Verbrennung ist dies die latente Wärme,

---

[1]) J. Volhard, Die Begründung der Chemie durch Lavoisier. Journal für praktische Chemie. Neue Folge, Bd. II, S. 17 ff.

[2]) E. Schultze, Lavoisier der Begründer der Chemie. Virchow und Holtzendorff, Sammlung gemeinverständlicher, wissenschaftlicher Vorträge. Neue Folge, 9. Serie, Heft 212. Hamburg 1894, S. 27.

[3]) A. Würtz, Geschichte der chemischen Theorien seit Lavoisier bis auf unsere Zeit. Deutsch von Oppenheim. Berlin 1870.

während jeder Körper eine bestimmte Wärmekapazität hat, zu deren Bestimmung er mit Laplace seine berühmten Versuche mit dem Eiskalorimeter ausführte[1]). Dabei wurden auch Gase der Untersuchung unterworfen, doch waren die Resultate nicht sehr zuverlässig. Die Körper dachte sich Lavoisier als aus Atomen bestehend, deren Zwischenräume der gewichtslose Wärmestoff ausfülle. Vermehrung der Wärme müsse demnach Vergrößerung des Volumens bedingen, seine Abnahme mit Entweichen der Wärme verbunden sein. Das führte ihn auf die Untersuchung der Ausdehnung der Körper, die er ebenfalls mit Laplace anstellte, auf die aber erst durch Biot[2]) aufmerksam gemacht wurde, da sie in den Wirren der Französischen Revolution unbeachtet geblieben war. Wenn auch Laplace zugegeben hatte, daß sich die durch Reibung entstehende Wärme wohl durch Schwingungen des Wärmestoffes erkläre, so entschied er sich doch auch für diesen Fall, die Wärmeentwicklung durch Austreten des Wärmestoffes zu deuten. Die Anhänger der Phlogistontheorie auf der anderen Seite ließen sich so leicht nicht zu der neuen Annahme bekehren, vielmehr scheute der Haller Professor Karl Gren (1760—1798), der das Phlogiston für eine Verbindung des Wärme- und Lichtstoffes hielt, vor der Folgerung, ihm eine negative Schwere zuzuschreiben nicht zurück[3]), deren Unhaltbarkeit ihm freilich Johann Tobias Mayer (1752—1830), der Sohn des berühmten Astronomen gleichen Namens (dessen Lösung des Problems der Längenbestimmung auf der See mittels Mondtafeln von der englischen Admiralität durch einen Preis von 3000 Pfund Sterling ausgezeichnet worden war), so gründlich nachwies[4]), daß Gren seine Unerklärbarkeit aus den damals bekannten empirischen Tatsachen zugeben mußte[5]). Hatte doch Mayer auch das Bedenken, das die Annahme eines gewichtslosen Wärmestoffes erregen mußte, gehoben, indem er zeigte, daß sein etwa vorhandenes Gewicht nur in einem wärmeleeren Raum würde zu beobachten sein, daß man aber einen solchen nicht herstellen könne. Darin freilich folgte Gren mit bestem Erfolge dem Vor-

---

[1]) Lavoisier und Laplace, Mémoire sur la chaleur. Mémoires de l'Académie française 1780.

[2]) Biot, Lehrbuch der Experimentalphysik I, S. 228.

[3]) Gren, Grundriß der Naturlehre. Halle a. S. 1788, § 749 ff.

[4]) Grens Journal der Physik, Bd. I. Halle a. S. und Leipzig 1790, S. 205 und 359.

[5]) Ebenda Bd. II, 1790, S. 198.

gange Lavoisiers und seiner Mitarbeiter, daß er 1790 eine Zeitschrift gründete, die bis zu seinem Tode den Titel Journal der Physik führte, nach seinem Tode aber von seinem Amtsnachfolger Ludwig Wilhelm Gilbert (1769—1824) unter dem Titel der Annalen der Physik fortgesetzt wurde und wie die französische Zeitschrift gleichen Namens als Annalen der Physik und Chemie bis zum heutigen Tage fortbesteht.

Daß eine molekulare Anziehung den Erscheinungen der Kapillarität zugrunde liege, der Luftdruck aber daran unbeteiligt sei, wußte man längst. Mit Hawksbee hatte Musschenbroek in der Anziehung von Glas und Wasser den Grund von dessen Aufsteigen gesehen. Eine mathematische Theorie der Erscheinung hatte 1743 Clairaut[1]) zu geben versucht, aber nicht, wie La Place[2]) 1806 die Anziehung nur auf unendlich kleine Entfernungen wirkend angenommen. Indem dieser neben der Adhäsion aber auch die Kohäsion berücksichtigte, gelangte er zu dem Ergebnis, daß der Randwinkel, nämlich der Winkel, unter dem die Flüssigkeit an die Röhrenwand tritt, einen für jede Flüssigkeit bestimmten Wert haben müsse, ein Satz, dessen Richtigkeit freilich erst Gauß auf mathematischem Wege wirklich bewies. Da aus diesem Satz der weitere folgt, daß bei den nämlichen Stoffen Aszension wie Depression dem Röhrendurchmesser proportional ist, so konnte er durch deren Beobachtung auf seine Richtigkeit auf experimentellem Wege geprüft werden. Solche Prüfungen haben auf Laplaces Wunsch Haüy, Tremery, Gay-Lussac u. a. mit befriedigendem Erfolge unternommen.

h) Die Dampfmaschine und der Luftballon.

Das Bestreben, die im erhitzten Wasserdampf aufgespeicherte Kraft zur Verrichtung von Arbeiten im großen zu verwenden, hatten Papin und Savery zur Erfindung der Dampfmaschine geführt, Newcomen hatte sie für technische Verwendung brauchbar gemacht. Freilich noch in recht unvollkommener Weise. Denn wie seine Vorgänger

---

[1]) Clairaut, Théorie de la figure de la terre. Paris 1743.

[2]) La Place, Théorie de l'action capillaire. Paris 1806. Supplément à la théorie de l'action capillaire. Paris 1807. Auch in Théorie de la Mécanique celeste T. IV. Paris 1805. Auch Brandes in Gilberts Annalen, Bd. 33. Leipzig 1809, S. 1, 117, 273 und 367.

benutzte er nicht die Spannkraft des Dampfes, sondern nur seine Fähigkeit, bei der Kondensation einen luftleeren Raum zu bilden, in den dann der Luftdruck einen Kolben preßte und bei dieser Gelegenheit eine Kraftwirkung auszuüben imstande war. Aber den Anforderungen, die man noch bis in die 80er Jahre des 18. Jahrhunderts stellte, hatten diese Maschinen genügt, und so waren auch die Maschinen John Smeatons wenn auch nicht unwesentlich verbesserte, doch immer nur New Comensche atmosphärische Maschinen. Das Modell einer solchen war es, die den 1736 in Greenock geborene James Watt 1764, als er Universitätsmechaniker in Glasgow war, bereits früher gefaßte Pläne zur Herstellung einer verbesserten Dampfmaschine wieder aufnehmen ließ. Zunächst war er auf Versuche im kleinen angewiesen. Vor allen Dingen suchte er den zu großen Wärmeverlusten vorzubeugen, indem er den Zylinder aus einer schlecht leitenden Substanz — er nahm Holz — herstellte, mußte aber diesen Weg wieder verlassen, da sich das Holz als zu wenig dauerhaft erwies, auch die nunmehr stärkere Verdampfung des Wassers, die Wirkung der Maschine beeinträchtigte. Er stellte nun zunächst Versuche an, die ihn über den Zusammenhang der Abhängigkeit der Spannkraft des Wasserdampfes von dessen Temperatur geben sollten, und stellte deren Ergebnis graphisch dar. Ihre spätere Wiederholung zeigte von den später von Regnault und Magnus erhaltenen, welche gegenwärtig als die maßgebenden betrachtet werden, so geringe Abweichungen, daß man über die einfachen Mittel erstaunt, die ihn solche erhalten ließen [1]). Bestanden sie doch nur aus einem Barometerrohr mit kugelförnig erweiterter Kammer, welche in ein Wasserbad mit Thermometer ragte und einer neben dem Rohre aufgestellten Skala. Das Barometerrohr wurde zum Teil mit Quecksilber, zum Teil mit Wasser gefüllt und die Temperatur mittels einer darunter gestellten Lampe entsprechend abgeändert. Über die notwendige Menge des Einspritzwassers aber verschaffte ihm ein anderer Versuch Aufklärung, wobei er in Brunnenwasser Dampf leitete und die Menge des niedergeschlagenen bestimmte, die das Wasser zum Sieden brachte. Er war mit Black befreundet, der kurz zuvor die latente Wärme entdeckt hatte und ihm die nötigen Aufklärungen geben konnte.

---

[1]) A. Ernst, James Watt. Berlin 1897. Auch Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 40. Berlin 1896, S. 977. Vgl. auch Matschoß, Die Entwicklung der Dampfmaschine, Bd. I. Berlin 1908, S. 339 ff.

So war es ihm klar geworden, daß das Kondensationswasser nicht in den Dampfzylinder treten durfte, und so fügte er der Maschine ein besonderes Kondensationsgefäß hinzu, aus dem die Luft mittels eines besondern Kolbens entfernt wurde. An Stelle des Luftdruckes trat bei der einfach wirkenden Maschine nun die Spannkraft des Dampfes. Hatte er das Pumpengestänge gehoben, so ließ ein sich nunmehr öffnendes Ventil den Dampf auch in den Kolben treten, und in dem nun der Überdruck auf der einen Seite aufgehoben war, zog das hinabsinkende Pumpengestänge den Dampfkolben wieder empor. Das bisher zu dessen Dichtung notwendige Wasser konnte nur durch das zweckmäßigere Öl ersetzt werden. Aber auch eines Oberflächenkondensators hat sich Watt mit Vorteil bedient, den Dampfzylinder umgab er mit einem die Wärme schlecht leitendem Stoffe, indem er überdies den Dampf zwischen dem Zylinder und den wärmebewahrenden Mantel hineinleitete.

Unterdessen war Watts Mechanikergeschäft zurückgegangen. 1767 gab er es deshalb auf und übernahm Vermessungen für Gemeinden und Private, namentlich auch solche für die Anlage des kaledonischen die Flüsse Clyde und Forth verbindenden Kanals. Zugleich verband er sich durch Vermittlung Blacks mit dem Schwefelsäurefabrikanten und Kohlengrubenbesitzer Dr. John Roebuck (1718—1794) in Birmingham, um die 1769 auf seine Entwürfe genommenen Patente zu verwerten. Dieser geriet aber nach einiger Zeit in Geldverlegenheit, und da 1774 seine übernommenen Vermessungsarbeiten beendet waren, löste Watt das Verhältnis zu Roebuck und siedelte nach Soho über, wo Matthew Boulton (1728 bis 1809) nicht lange vorher eine Maschinenfabrik angelegt hatte, um brauchbarere Dampfmaschinen herzustellen, als ihm bisher gelungen war. Er wurde Teilhaber an der Fabrik, aus der er 1800 ausschied, um den Rest seines Lebens auf seinem Landhaus bei Birmingham zuzubringen, wo er 1809 starb.

Boulton hat es nicht zu bedauern gehabt, sich mit Watt verbunden zu haben. Während bei des letztern Eintritt die einfach wirkende Dampfmaschine das beste war, was die Sohoer Fabrik zu bieten hatte, so waren die Maschinen, die sie bei seinem Austritt baute, Maschinen ganz im modernen Sinne. Schon 1769 hatte er den Gedanken gefaßt, die Expansion des Dampfes zu ihrer bessern Wirkung zu benutzen, 1776 führte er den Gedanken versuchsweise aus, 1778 lieferte die Fabrik bereits eine Maschine mit Expansion. In demselben Jahre hatte er

bereits zur Verwandlung der Drehbewegung des Schwungrades in die hin- und hergehende Bewegung des Balanciers einen Kurbelmechanismus anzuwenden versucht, aber bei der Einfachheit der Einrichtung sie nicht für patentfähig gehalten. Zu seinem Schaden mußte er aber erfahren, daß dies ein Irrtum war, ein anderer nahm das Patent darauf und machte damit dem Erfinder die Benutzung seines Gedankens unmöglich. Freilich wußte sich dieser zu helfen, er wandte die Kurbel in Planetenräder versteckt an, empfand es aber doch als eine Erleichterung, als er sie später wieder frei verwenden durfte. Daß er recht hatte, den sie unnötig machenden Vorschlag Smeatons[1]), das von der Maschine gepumpte Wasser auf ein Wasserrad fallen zu lassen, wie einen solchen schon Papin unbefolgt gelassen hatte, zu verschmähen, bewiesen bald genug seine Erfolge. Wenn wir dann noch die doppelt wirkende Maschine, die selbsttätige Steuerung, die als Wattsches Parallelogramm bekannt gewordene Geradführung und den Schwungkugelregulator als Erfindungen Watts, von dem auch die Kopierpresse herrührt, anführen, so ist das Beweis genug, um ihn für den Schöpfer der modernen Dampfmaschine zu erklären.

Der Sohoer Fabrik sollte man indessen noch eine andere Erfindung verdanken, die ebenfalls einen der wichtigsten Kulturfortschritte einleiten sollte. Im Jahre 1777 war John Murdock (1754—1839) dort zunächst als Arbeiter eingetreten, hatte sich aber bald genug als ein überaus tüchtiger Gehilfe des Meisters erwiesen. Die Planetenräder, die Watt anstatt der Kurbel hauptsächlich verwendete, waren nicht die von ihm, sondern die von Murdock angegebenen, und der Wunsch, die Leuchtkraft des Steinkohlengases zweckmäßig zu verwenden, hatte ihn 1798 die Beleuchtung der Fabrik damit herstellen lassen, ein Versuch, der so wohl gelang, daß er der Ausgangspunkt der Gasbeleuchtung wurde, die bis zum heutigen Tage das elektrische Licht nicht hat verdrängen können. So nimmt die Sohoer Fabrik in mehr als einer Hinsicht einen der ehrenvollsten Plätze in der Geschichte der Physik ein.

Die Erfolge Watts zogen bald die Aufmerksamkeit des Auslandes auf sich. Als man Paris 1777 mit Wasser aus der Seine versorgen wollte, suchte man eine von ihm gebaute Maschine dafür zu erhalten. Seine Fabrik lieferte die Maschinenteile, aber die fertige Maschine entsprach

---

[1]) Farey, A treatise on the steam engine London 1827, S. 409. Vgl. Ernst, James Watt. Berlin 1897, S. 62.

den von ihr gehegten Erwartungen nicht und konnte es auch nicht, da man bei ihrer Aufstellung die Benutzung der Expansion aufgegeben, und auch versäumt hatte, den zur Warmhaltung des Dampfzylinders nötigen Dampfmantel einzurichten. Nach Deutschland kam die erste Dampfmaschine im Jahre 1785. Zwar scheint man vorher dort schon früher Versuche mit Feuermaschinen, wie die Dampfmaschine noch genannt wurde, angestellt zu haben, aber ohne befriedigenden Erfolg, wenn man einen solchen der Maschine, die Gansauge auf seinem Kohlenbergwerk zu Altenweddingen aufstellte, nicht darin sehen will, daß Friedrich der Große von ihr Veranlassung nahm, seine Beamten auf die von ihm bereits erkannte Wichtigkeit der neuen Maschine aufmerksam zu machen [1]). Das hatte den Erfolg, daß der damalige Bergassessor Karl Friedrich Bückling (1750—1812) nach England geschickt wurde, um die Wattsche Maschine zu studieren. Trotz der überaus großen Schwierigkeiten gelang es ihm, seine Aufgabe so zu lösen, daß er bei Hettstedt in der Grafschaft Mansfeld von deutschen Arbeitern und aus lediglich deutschem Material eine einfach wirkende Wattsche Dampfniederdruckmaschine aufstellen konnte, die am 23. Aug. 1785 in Betrieb genommen wurde, wo sie, nachdem allerdings 1787 der Zylinder durch einen in England hergestellten ersetzt und in William Richard (gest. 1831) ein englischer Maschinenmeister zu ihrer Beaufsichtigung gewonnen worden war, bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts in ununterbrochener Tätigkeit geblieben ist [2]).

Die weitere Entwicklung der Dampfmaschine, die nicht zum wenigsten mittels der durch sie ermöglichten Dampfschiffahrt und Eisenbahn das Leben der Kulturvölker im 19. Jahrhundert von Grund aus umzugestalten berufen war, gehört nicht in die Geschichte der Physik. Ganz ähnlich verhält es sich mit dem ursprünglich physikalischem Apparat, der sich anschickt, für das 20. Jahrhundert dasselbe zu leisten, verhält es sich mit dem Luftballon. Allein auf die Geschichte seiner Erfindung und die seiner frühesten Entwicklung haben wir hier einzugehen. Daß es eine uralte Sehnsucht des Menschengeschlechtes war, es den Vögeln in der Beherrschung der Luft gleich zu tun, ist bekannt genug. Leonardo da Vinci mag nicht der erste gewesen sein, der sich mit den

---

[1]) C. Matschoß, Die Entwicklung der Dampfmaschine, Bd. I. Berlin 1908, S. 149.

[2]) Ebenda S. 151.

Entwürfen für Flugmaschinen beschäftigt hat, aber die Erfinder suchten entweder den Vogelflug nachzuahmen oder ihre Erfindungen waren nichts anderes wie Drachen, wie solche bereits die Chinesen hatten, und anderes waren die mit einem Feuerbrand im Maule versehenen Drachenbilder auch nicht, auf Grund deren Feldhaus[1]) den Warmluftballon für eine deutsche Erfindung des Mittelalters erklären möchte. Machte er doch selbst darauf aufmerksam, daß die Darstellung jener Ungeheuergestalten sich mit dieser Annahme kaum vereinigen läßt!

Die erste Idee der Herstellung eines Luftballlons schließt an Guerickes Versuche mit der Luftpumpe an. Sie stammt von dem Brescianer Mathematiklehrer Francesco Terzi de Lana von der Gesellschaft Jesu (1631—1687) und ging dahin, vier große kupferne Kugeln von je 20 Fuß Durchmesser luftleer zu machen, sie mit vier Stricken an ein Schiff zu befestigen und dieses dann in die Luft heben zu lassen[2]). Obwohl Sturm den Plan gut hieß und ihn als eine Anwendung des Archimedischen Prinzips für ausführbar erachtete[3]), und obwohl einige Gelehrte seiner Zeit sich seinem Urteil anschlossen, so wiesen doch andere, darunter Hooke die Unmöglichkeit des Projektes nach, da ja die Kugeln gar nicht imstande gewesen wären, dem Luftdruck Widerstand zu leisten. Trotzdem nahm noch 1755 der Philosophieprofessor Pater Joseph Galien (1699—1782) die Idee Lanas wieder auf, mit der Änderung freilich, daß er vorschlug, die Kugeln mit Luft aus der Region des Hagels zu füllen, ohne freilich anzugeben, wie dies bewerkstelligt werden sollte[4]). Die Art, wie der Pater Bartholomeo Lourenço de Gusmão (1685—1724) seinen Luftballon hat herstellen wollen, der 1709 aufgestiegen sein soll, hat sich mit Sicherheit nicht feststellen lassen, ebensowenig ob er seine Luftfahrt wirklich ausgeführt hat[5]).

So war noch nichts zur Ausführung eines Versuchs mit dem Luftballon geschehen, als Joseph Michel Montgolfier (1740

---

[1]) Feldhaus, Illustrierte Aeronautische Mitteilungen 1906, Jahrg. 10, S. 113. Vgl. auch Luftfahrten einst und jetzt. Berlin 1908, S. 78.

[2]) De Lana, Prodromo, ovvero Saggio di alcuni invenzioni nuove premesso all'arte maestra. Brescia 1670.

[3]) Sturmius, Collegium experimentale curiosum. Norimbergae 1676. Tentam. X und append.

[4]) Galien, L'Art de naviguer dans les airs. Avignon 1755.

[5]) Feldhaus, Luftfahrten einst und jetzt. Berlin 1908, S. 33.

bis 1810), Papierfabrikant zu Annonay im Departement Ardèche, bei der Belagerung Gibraltars im Jahre 1782 auf Mittel sann, welche die eingeschlossene Stadt durch die Luft zu erreichen erlaubten. Es schien in ähnlicher Weise möglich zu sein, wie der Rauch im Schornstein emporsteigt, und nachdem ein Versuch mit einem parallelepipedischen Gefäß gelungen war, das durch darunter abgebranntes Papier bis zur Decke des Zimmers, in dem der Versuch angestellt wurde, emporgestiegen war, unternahm er es in Gemeinschaft mit seinem Bruder Jacques Étienne Montgolfier (1745—1799) den Versuch im großen zu wiederholen. Vor einem großen geladenen Publikum ließen sie einen aus Taffet hergestellten Ballon, unter dessen weiter unterer Öffnung ein Holzfeuer brannte, am 5. Juni 1783 emporsteigen, und die beträchtliche Höhe, die er erreichte, rief die größte Bewunderung der Zuschauer, unter denen sich die in Annonay versammelten Stände von Vivarais befanden[1]), hervor. Daran, daß die geringere Dichtigkeit der erwärmten Luft den Grund der Steigkraft ihres Ballons bildete, dachten die Montgolfiers allerdings nicht, sie glaubten vielmehr durch die Verbrennung ein leichtes, bis dahin unbekanntes Gas erzeugt zu haben. Ein solches leichtes Gas war aber bereits 1766 von Cavendish im Wasserstoff entdeckt, wie wir sahen, und so lag der Versuch nahe, einen Aerostaten damit zu füllen und emporsteigen zu lassen. Diesen Gedanken führte zuerst der spätere Professor der Physik am Conservatoire des Arts et Métiers Jacques Alexandre César Charles (1746—1823) aus und ließ seinen Ballon aus Seidentaffet, der mit Harzfirnis gedichtet war, am 27. August 1783 auf dem Marsfelde bei Paris aufsteigen, der sich etwa ¾ Stunden in der Luft erhielt und bei seinem Niedergang in der Nähe der Hauptstadt von Bauern zerstört wurde.

Nun begann ein eifriger Wettstreit zwischen den Heißluftballon oder der Montgolfière und dem mit Wasserstoff gefüllten Aerostat oder der Charlière. Im September wurde die Montgolfière der königlichen Familie zu Versailles vorgeführt. Sie trug einen Korb mit verschiedenen Tieren, die wohlbehalten zur Erde wieder herunterkamen, und

[1]) Joseph Montgolfier, Discours sur l'aérostat. Paris 1783. — Les voyageurs aériens. Paris 1784. — Mémoire sur la machine aérostatique. Paris 1784. Vgl. hierüber und das Folgende Heller, Geschichte der Physik, Bd. II. Stuttgart 1884, S. 529, und Poggendorff, Biographisch-literarisches Handwörterbuch. Leipzig 1863.

darauf hin gestattete Ludwig XVI. dem Intendanten des naturhistorischen Kabinetts von Monsieur (dem nachmaligen König Ludwig XVIII.) Pilâtre de Rozières (1756—1785) mit dem Marquis d'Arlande am 21. Oktober aufzusteigen. Sie kamen wohlbehalten zur Erde zurück, und schon am 1. Dezember führte Charles eine von den Mechanikern Robert hergestellte Charlière mit deren Verfertigern in die Lüfte. Als auch diese Fahrt gelungen war, wurde der Luftballon ein beliebter Schaustellungsgegenstand. Bis zum Jahre 1785 waren schon 58 Personen in 35 Fahrten aufgestiegen, aber nun forderte der gefährliche Versuch als Opfer den, welcher ihn zuerst unternommen hatte. Pilâtre de Rozieres stürzte bei dem waghalsigen Versuche mit einer über einer Montgolfière angebrachten Charlière den Kanal zu überfliegen infolge der Explosion der letzteren ab und wurde an den Felsen der Bretagne zerschmettert.

Ein besonderes Reizmittel für die Schaulust hatte bereits 1784 Josephe Montgolfier in der weitern Erfindung des Fallschirmes geschaffen, der in einem kleinen Ballon bestand, groß genug, um einen von ihm getragenen Menschen sanft zur Erde zu bringen [1]. Zwei Jahre später aber nahm der Luftschiffer Jean Pierre Blanchard (1753 bis 1809), der 1785 zuerst über den Kanal geflogen war, bei seinem 60. Aufstieg aber den Tod fand, die Idee des Pariser Professors Louis Sébastien Le Normand (geb. 1757)[2] auf, als Fallschirm einen nach Art eines gewöhnlichen Regenschirmes gebauten Apparat zu benutzen. Er vertraute sich ihm zwar nicht selbst an, sondern zeigte seine Brauchbarkeit, indem er einen Hammel, der sich in einem Käfig befand, aus dem Ballon herabließ. Dieses Wagnis unternahm erst ein Schüler von Charles, der eine Zeitlang bei der französischen Nordarmee als Aeronaut angestellte André Jacques Garnerin (1769 bis 1823)[3], der den Fallschirm dann öfters bei seinen Schaustellungen benutzte. Man glaubte damals schon dem Luftballon eine wichtige Rolle im Kriege zusprechen zu können. Auf Garnerins Anregung wurde 1794 eine Aeronautenschule in Meudon gegründet und Bonaparte nahm auf seinem Feldzug nach Ägypten einen Ballon mit, um das Erstaunen seiner Feinde dadurch, daß er ihn aufsteigen ließ, zu erregen.

---

[1]) Annales de Chimie XXXI. S. 269. — [2]) Annales de Chimie XXXVI. S. 94.

[3]) Garnerin, Usurpation d'état et de réputation par un frère au prejudice d'un frère. Paris 1813. Gegen seinen Bruder gerichtet, der ihm die Erfindung streitig machte.

Diesen Zweck erreichte er aber in sehr geringem Maße, und da auch sonst der Wert des Ballons sich für die Kriegführung als nutzlos erwies, so löste er nach seiner Rückkehr die Schule in Meudon wieder auf. So blieb die Anwendung des Ballons auf Schaustellungen und auf Fahrten zur wissenschaftlichen Untersuchung der Atmosphäre in großen Höhen beschränkt, deren berühmteste damals die 1804 von Biot und Gay-Lussac ausgeführt wurde. Die von dem französischen Oberstleutnant späteren General Meusnier de la Place (1754—1793) vorgeschlagene Idee des mit der äußern Luft nach Bedürfnis zu verbindenden Ballonetts sollte erst in viel späterer Zeit von Wichtigkeit werden.

Joseph Montgolfier hatte sich, ehe er infolge des frühen Todes seines älteren Bruders die väterliche Papierfabrik übernehmen mußte, vielfach mit Physik und Chemie beschäftigt. In beiden Fächern ist er auch erfinderisch tätig gewesen. Die Chemie verdankt ihm einen 1794 angegebenen Verdampfungsapparat [1]), bei dem durch einen Ventilator in gleichmäßigem starken Strome Luft über die Oberfläche der zu verdampfenden Flüssigkeit hingetrieben wird, die Temperatur also eine mäßige sein darf, die Physik den hydraulischen Widder oder Stoßheber, bei dem er in geschickter Weise den Stoß des bewegten Wassers zur Hebung einer allerdings verhältnismäßig geringen Menge davon benutzte [2]). Wenn auch sein Plan, durch diese hübsche Erfindung die Wasserkunst zu Marly zu betreiben, infolge seines Todes nicht zur Ausführung kam, so würde er in keinem Falle sich als möglich erwiesen haben. Doch hatte er sich bereits 1796 für seine Papierfabrik einen solchen bauen lassen. Man hat den Stoßheber wohl hier und da zur Bewässerung von Wiesen verwendet, in neuester Zeit ist er auch für den Bergbau von Wichtigkeit geworden.

An der Erfindung des Stoßhebers hatte der in Genf geborene Techniker Aimé Argand (1755—1803) Teil genommen, der 1783 in der Lampe mit doppeltem Luftzuge eine andere wichtige Erfindung machte, die eine ungemeine Verbesserung der damaligen Lampen darstellte. Sie ist jetzt bei allen Öl- oder Spirituslampen, die Beleuchtungszwecken dienen, in ausschließlicher Verwendung und sollte die verbesserten optischen Agenten für die Leuchttürme erst nutzbringend gestalten.

---

[1]) Désormes und Clément, Annales de Chimie 1810, Bd. 71, S. 34. Gilbert, Annalen der Physik 1811, Bd. 37, S. 115.

[2]) Montgolfier, Journal des mines 1802, Tom. XIII, S. 42.

Namenregister.

Sachregister.

*

